

David Hrbáč: Posouzení vhodnosti technologie sanace vod ekologické zátěžové oblasti  
v ostravských Lagunách a porovnání s jinými technologickými postupy

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ -  
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**  
HORNICKO-GEOLOGICKÁ FAKULTA  
Institut environmentálního inženýrství



# Posouzení vhodnosti technologie sanace vod ekologické zátěžové oblasti v ostravských Lagunách a porovnání s jinými technologickými postupy

Diplomová práce

Autor:

Bc. David Hrbáč

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Daniela Plachá, Ph. D.

Ostrava 2013

David Hrbáč: Posouzení vhodnosti technologie sanace vod ekologické zátěžové oblasti  
v ostravských Lagunách a porovnání s jinými technologickými postupy

**VŠB – TECHNICAL UNIVERSITY OF OSTRAVA**  
**FACULTY OF MINING AND GEOLOGY**  
Institute of environmental engineering



# Assessment of the suitability of water environmental remediation technology stress field in Ostrava lagoons and comparsion with other technological processes

DIPLOMA THESIS

Author:  
Supervisor:

Bc. David Hrbáč  
doc. Ing. Daniela Plachá, Ph. D.

Ostrava 2013

## **ANOTACE**

Předložená diplomová práce se zabývá posouzením vhodnosti technologie sanace vod ekologické zátěžové oblasti v ostravských Lagunách a porovnání vlivů s jinými technologickými postupy.

První část diplomové práce je zaměřena na technologie, které se využívají k sanačním pracím v rámci odstranění kontaminovaných vod a zemin. Diplomová práce popisuje technologie, které se používají na likvidaci ekologických zátěží.

V druhé části diplomové práce seznamuji s historií ostravských Lagun, množstvím odpadů, rozlohou, žijícími živočichy a rostlinstvem. Popisuje jednotlivé laguny a jejich naplnění.

V třetí části diplomové práce se zabírám technologickými postupy sanačních prací lagunových vod, sanací uvnitř podzemní těsnicí stěny, vně podzemní těsnicí stěny, biodegradace in situ s využitím biosparingu, odčerpávání volné fáze RU.

Čtvrtá, experimentální část diplomové práce, se zabývá platnou legislativou, porovnáváním hodnot přečištěných vod na vstupech a výstupech čističky lagunových vod, účinnost čističky lagunových vod a dekontaminační stanice. Současně vyhodnocuji účinnost přečištění vod pomocí jiných technologií, které byly použity při sanačních pracích v podobně ekologicky zátěžových oblastech.

Závěr diplomové práce je zhodnocení vhodnosti použitých sanačních metod, které se využívají v areálu laguny Ostramo.

## **KLÍČOVÁ SLOVA:**

Laguny, Kontaminace, Sanace, Biodegradace, Čistička lagunových vod, Dekontaminační stanice, Saturovaná zóna, Nesaturovaná zóna,

## **ANNOTATION**

This thesis deals with the evaluation of water environmental remediation technologies used in the environmentally hazardous area of Ostrava lagoons and compared the effects with other technological processes.

The first part of the thesis is focused on technologies that are used for sanitation works during the removal of contaminated water and soil. It also describes the technologies that are used for disposal of contaminated sites.

In the second part of the thesis the author introduces the history of Ostrava lagoons, with the waste quantity, their size, fauna and flora. He describes various lagoons and their content.

The third part of the thesis, focuses on technological processes of the remediation of lagoon water, sanitation inside the underground sealing walls, outside the underground sealing walls in situ biodegradation using biosparging, and free RU phase draining.

The fourth experimental part of the thesis deals with the valid legislation, the comparison of values of treated water at the inputs and output of the lagoon water treatment plant and the efficiency of lagoon water treatment plant of decontamination plants.

In the conclusion of this thesis the suitability of remediation methods, used in the Ostrava lagoon is evaluated.

## **KEYWORDS:**

Lagoon, Contamination, Remediation, Biodegradation, Sewage lagoon waters, decontamination plants, saturated zone, unsaturated zone

### ***Prohlášení***

***Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.***

***- Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.***

***- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).***

***- Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího vedoucího práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.***

***- Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>***

***- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.***

***- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).***

***V Ostravě dne 26. 4. 2013***

***Bc. David Hrbáč***

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Hornicko-geologická fakulta  
Institut environmentálního inženýrství

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. David Hrbáč**  
Studijní program: N2102 Nerostné suroviny  
Studijní obor: 3904T005 Environmentální inženýrství  
Téma: **Posouzení vhodnosti technologie sanace vod ekologické zátěžové oblasti v  
ostravských Lagunách a porovnání s jinými technologickými postupy**  
Assessment of the suitability of water environmental remediation  
technology stress field in Ostrava lagoons and comparison with other  
technological processes

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Historie vzniku lagun
3. Charakteristika území
4. Aplikovaná technologie sanací vod
5. Porovnání s jinými dostupnými technologiemi
6. Diskuze
7. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

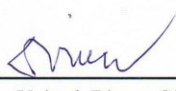
1. J. Vencel, Z. Viestová: Ekologické opatření v areálu skládky s.p.Diamo
2. I. Vaníček: Sanace skládek, starých ekologických zátěží, 2002
3. Kompendium sanačních technologií, ed. vodní zdroje Ekomonitor spol. s.r.o.Chrudim
4. Technické dokumentace společností Aquatest, Diamo, Geosan
5. Oxidační a redukční metody odstraňování ekologických zátěží: sborník konference, ed. J. Burkhard, O. Valousková, 2006

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Daniela Plachá, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2012

Datum odevzdání: 30.04.2013

  
prof. Ing. Vojtech Dimer, CSc.  
vedoucí institutu



  
prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr.h.c.  
děkan fakulty

## OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>1 EKOLOGICKÁ ZÁTĚŽ.....</b>	<b>11</b>
1.1 Přehled sanačních technologií .....	11
1.2 Saturovaná zóna .....	12
1.3 Nesaturovaná zóna .....	18
<b>2 HISTORIE LAGUN .....</b>	<b>19</b>
2.1 Monitoring výskytu rostlin živočichů na lagunách Ostramo .....	20
2.2 Obsah lagun .....	22
2.2.1 Složení odpadů a kontaminovaných materiálů .....	24
2.2.2 Kontaminace vod .....	25
<b>3 TECHNOLOGICKÝ POSTUP SANACÍ V LAGUNÁCH OSTRAMO.....</b>	<b>27</b>
3.1 Sanace lagunových vod .....	27
3.2 Sanace uvnitř podzemní těsnicí stěny (PTS) .....	28
3.3 Sanace saturované zóny vně PTS .....	30
3.3.1 Hydraulická sanace .....	31
3.3.2 Biodegradace in situ s využitím biosparingu .....	32
3.3.3 Systém odčerpávání volné fáze RU .....	35
3.3.4 Vyhodnocení čističky lagunových vod .....	36
3.3.5 Přечиštění vod na dekontaminační stanici z prostoru vně PTS .....	44
<b>4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....</b>	<b>49</b>
4.1 Legislativní část .....	49
4.2 Porovnání hodnot kontaminace vypouštěných vod z ČLV v lagunách Ostramo .....	50
4.2.1 Porovnání hodnot kontaminace při vstupu do dekontaminační stanice .....	56
4.2.2 Srovnání účinnosti dekontaminační stanice .....	57
4.2.3 Vliv sanačních prací na ovzduší .....	59
4.3 Metody čištění podzemních vod v podobně ekologicky zátěžových oblastech .....	61
4.3.1 Využití oxihumolitového nosiče při čištění podzemních vod .....	61
4.3.2 Ozonizace odpadních vod .....	62
<b>5 ZÁVĚR .....</b>	<b>64</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>66</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ .....</b>	<b>68</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>70</b>

Na tomto místě bych rád poděkoval lidem, bez kterých by tato diplomová práce nikdy nemohla vzniknout. Největší dík patří především vedoucí diplomové práce doc. Ing. Daniele Plaché, Ph. D. a Mgr. Josefu Matelovi ze společnosti Aquatest a.s. za jejich cenné rady, poznatky a neuvěřitelnou ochotu a mnohdy i trpělivost. Dále bych chtěl poděkovat pracovníkům Geosan group s.r.o., rodině a všem, kteří mě podporovali a pomáhali při vzniku diplomové práce. Tato práce byla podpořena projektem OPVaVpl CZ.1.05/2.1.00/03.0069.



## ÚVOD

Od dob technické revoluce přináší činnost člověka tlak na životní prostředí. Tento tlak a celkový rozvoj společnosti způsobil zvýšení úniků škodlivých látek.

Problematicke odstraňování ekologických zátěží věnuje Ministerstvo životního prostředí České republiky zvýšenou pozornost už několik let, mimo jiné i budováním informačního systému. Za účelem snížení negativních vlivů znečištěného území na zdraví lidí bylo navrženo a vyvinuto množství sanačních technologií.

V současné době je evidováno 8900 lokalit se starou ekologickou zátěží. Na 166 lokalitách byla sanace ukončena a na 746 sanační práce probíhají. Žádná technologie není bezodpadová.

Jednou z oblastí, která je v současné době nejčastěji zmiňována, je oblast Ostravských lagun. Ostravské laguny obsahující ropné kaly a toxické látky, jsou pozůstatkem chemických závodů Ostramo. Podle odborných odhadů laguny obsahují kolem dvou set tisíc tun ropných látek. Kromě samotných lagun je v dané lokalitě kontaminováno i podloží.

Přítomností lagun trpí zejména obyvatelé blízkého sídliště Fifejdy, které obtěžuje zápach a prašnost, zvláště v letních měsících.

**Cíle diplomové práce:**

- Technologie používané v rámci sanačních prací
- Historie lagun, monitoring rostlin a živočichů
- Aplikovaná technologie sanace vody v lagunách Ostramo
- Experimentální část: zpracování dat a jejich porovnání
- Závěr

# 1 EKOLOGICKÁ ZÁTĚŽ

Ekologickou zátěží rozumíme závažné znehodnocení horninového prostředí, podzemních nebo povrchových vod. Jedná se o stav, kdy došlo k zhoršení kvality podzemní vody přímým nebo nepřímým působením člověka, a to i v případě, že nebyly překročeny limity stanovené pro jednotlivé složky. Množství kontaminace se posuzuje vždy k určenému kritériu. Hodnota je relativní a pro určité účely bude míra kontaminace podzemní vody nevýznamná (např. jako technologická průmyslová voda), pro jiné účely (např. jako voda pitná) bude naopak voda již nepoužitelná. Chemickou kontaminaci podzemních vod mohou způsobovat anorganické i organické látky. Hodnoty kontaminantů v určitém přírodním prostředí mohou vysoce překračovat požadavky např. pro pitnou vodu, přitom se nejedná o kontaminaci podzemní vody a naopak nízký výskyt látek umělého původu v prostředí (především látky organické apod.) je důkazem jeho kontaminace [1].

Za kontaminaci je tedy považován stav, kdy v důsledku lidské činnosti se v zemině, podzemní vodě nebo v jiné složce životního prostředí vyskytují chemické látky pro dané prostředí cizorodé svojí podstatou, koncentrací nebo množstvím [2].

Cílem sanací starých ekologických zátěží je:

- Snížení rizika kontaminace podzemních a povrchových vod
- Uvolnění pozemků pro další hospodářské využití
- Po odstranění kontaminace využití vodních zdrojů dané oblasti [3]

## 1.1 Přehled sanačních technologií

Náprava starých ekologických zátěží je v České republice velký problém, který ročně vyžaduje investice v miliardách korun. V rámci náprav starých ekologických zátěží se používají technologie na čištění kontaminovaných podzemních vod, výluhů a průsaků. V zahraničí bývají běžně používány membránové separační procesy, které se u nás zatím neuplatňují [4].

V rámci sanačních prací je nutné dodržet činnosti:

- Zjištění znečištění
- Průzkum znečištění
- Analýza rizik a stanovení cílových parametrů
- Ekonomicko-technická studie proveditelnosti
- Rozhodnutí správního orgánu

#### **Dělení sanačních prací:**

- Aktivní metody sanace, směřující k odstranění kontaminantů z prostředí
- Pasivní metody sanace, které stabilizují kontaminant v prostředí a eliminují jeho nebezpečnost
- Řízené monitorované znečištění (probíhá pouze monitoring) [5]

#### **Sanace má tři součásti:**

- Sanace zdroje znečištění
- Sanace saturované zóny
- Sanace nesaturované zóny

## **1.2 Saturovaná zóna**

Metody sanace saturované zóny můžeme rozdělit na metody *in situ*, tj. sanaci na místě, pod povrchem a *ex situ*, tj. po vyčerpání kontaminovaných vod proběhne jejich dekontaminace. Základními metodami sanace podzemních vod jsou tzv. hydraulické metody. Jedná se o metody sanace, které souvisejí se zásahem do režimu proudění podzemních vod. Při řešení konkrétní situace jde často o kombinaci nejrůznějších metod a přístupů. Sanace podzemních vod je téměř vždy záležitost dlouhodobá, často trvající roky. S tím souvisí i značná finanční náročnost [5].

### ***Metody sanace in situ***

#### **Sanační čerpání**

Sanační čerpání je charakterizováno svým režimem, který zahrnuje:

- čerpací objekty, jejich druh a počet
- čerpaná množství a snížení hladin podzemní vody v jednotlivých objektech
- hloubka zapuštění čerpadel, způsob čerpání a provozu, umístění dalších zařízení ve vrtu (hladinové spínače, měřiče různých parametrů, někdy i dekontaminační zařízení)
- intervaly měření potřebných údajů ke kontrole sanace
- stanovení místa a způsobu vypouštění vody
- pokyny pro řešení technických poruch a havárií [6]

Nevýhodou čerpání je neúčinnost pro kontaminanty shromážděné v úrovni kolísání hladiny podzemní vody na rozhraní saturované a nesaturované zóny a dále v obnažené zóně po snížení hladiny podzemní vody vlivem sanačního čerpání [5].

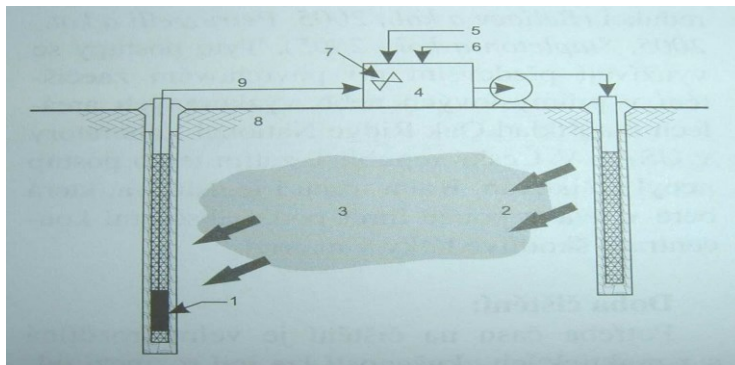
#### **Ochranné čerpání**

S ochranným čerpáním se nejčastěji setkáme v podobě dočasné nebo trvalé hydraulické clony. Jedná se o uměle vyvolanou změnu proudění podzemní vody za účelem ochrany území ve směru původního proudění. Primární funkcí zde není sanace, ale ochrana dosud nezasazeného území [5].

#### **Biodegradace**

Jde o systém využívajících bakterií, které rozkládají organické látky např. uhlovodíky (viz. obrázek č. 1). Využívají se pro sanaci znečištění horninového prostředí a podzemních vod různými organickými látkami [5].

Základní podmínky biodegradace: polutanty musí být biologicky rozložitelné, polutanty musí být biologicky dostupné, v prostředí nesmějí působit inhibiční faktory [7].

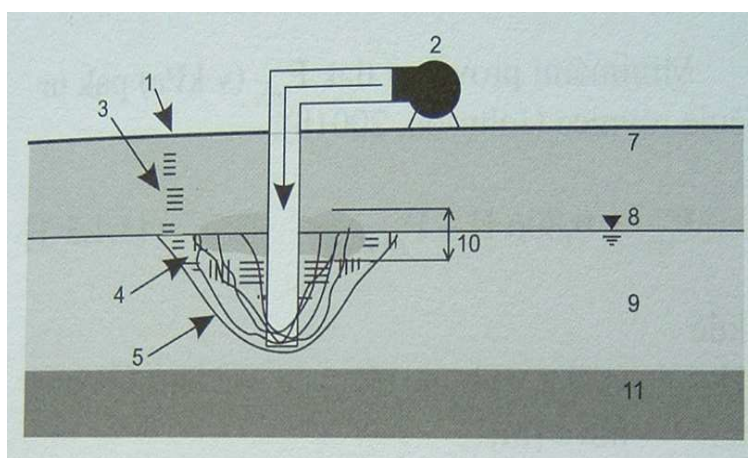


Obrázek č.1: Schéma podpory biodegradace zapouštěním roztoků živin do vrtů s recirkulací [8]

1 – ponorné čerpadlo, 2 – roztok živin, 3 – kontaminovaná zemina, 4 – příprava roztoku živin,  
5 – voda, 6 – živiny, 7 – míchadlo, 8 – úroveň terénu, 9 – recirkulace vody

### Air sparging (vystřelování vzduchem)

Je metoda, která snižuje koncentrace těkavých kontaminantů sorbovaných na zeminy nebo rozpuštěných v podzemní vodě (viz. obrázek č. 2). Používá se pro remediace podzemní vody kontaminované benzenem, toluenem, etyl-benzenem, xylenem (BTEX) [9].



Obrázek č.2: Schéma air spargingu [8]

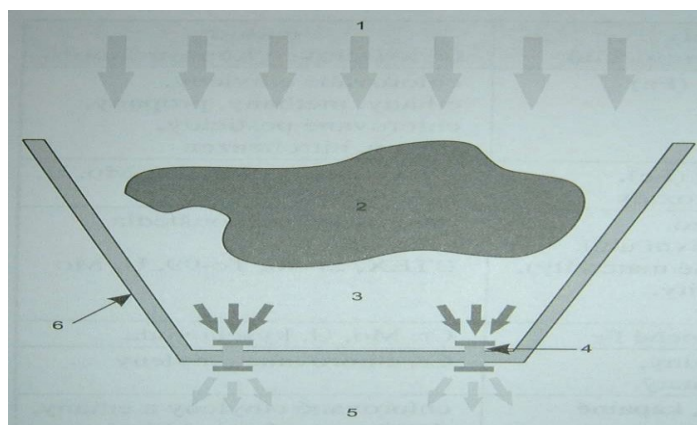
1 – únik ropných látek, 2 – vtlačení vzduchu, 3 – zbytková kontaminace, 4 – rozpuštěný kontaminant,  
5 – vzduchové kanály, 6 – nepropustné vrstvy, 7 – nenasycená zóna, 8 – hladina podzemní vody,  
9 – nasycená zóna, 10 – silně kontaminovaná zóna, 11 – nepropustná vrstva

### Podzemní nepropustné bariéry

Tato metoda patří pod metodu pasivní. Nepropustné prvky brání (v celém profilu zvodně) šíření kontaminace nebo zčásti. Mohou celou kontaminovanou lokalitu uzavřít nebo být situovány jako polozavřené nebo liniové do směru šíření podzemních vod [10].

### Podzemní propustné bariéry

Nepropustné stěny s propustnými úseky - branami. Tyto brány leží napříč proudnicí a vychází ze zdroje kontaminace (viz. obrázek č. 3). Odstraňování a snižování koncentrace polutantů je způsobeno činidly, sorbenty, Fe, mikroorganismy apod [11].

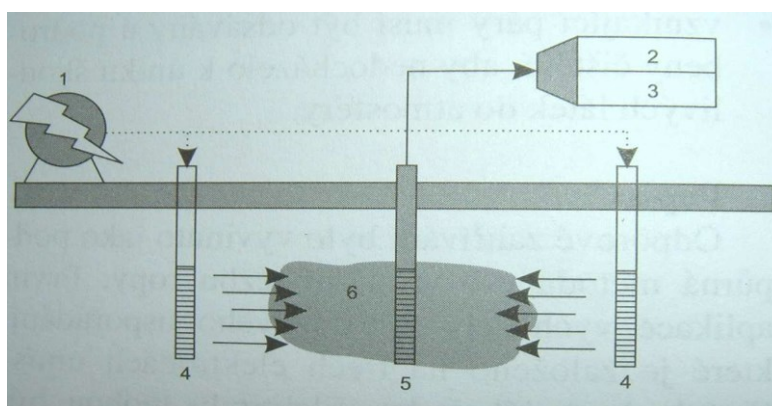


Obrázek č. 3: Princip propustné bariéry [8]

1 – tok podzemní vody, 2 – znečištěná zóna, 3 – znečištěná voda,  
4 – reaktivní brána, 5 – upravená voda, 6 – těsnící podzemní stěna

### Propařování

Ohřátím kontaminované podzemní vody horkou parou na 90°C až 320°C tím dojde ke zvýšení těkavosti organických látek a sníží se sorpční schopnost, tím dochází ke zvýšenému úniku ve formě plynu (viz. obrázek č. 4). Plynnou formu polutantu je možné zachytit z nesaturované zóny např. ventingem [12].



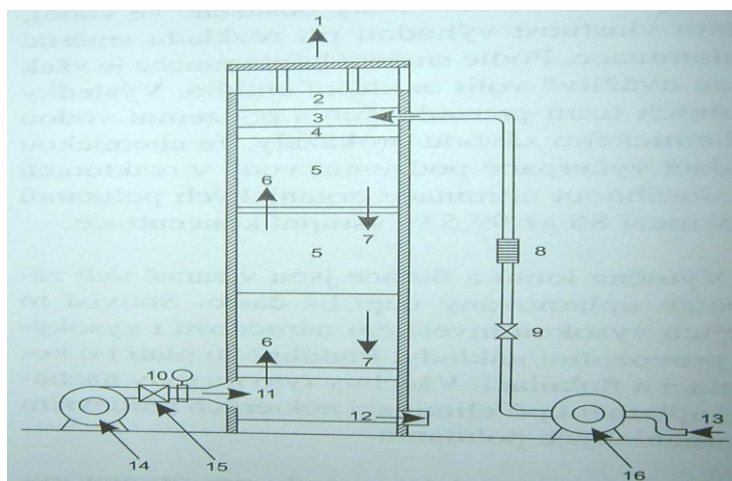
Obrázek č. 4: Propařování vodní párou [8]

1 – vyvíječ páry, 2 – čištění par, 3 – čištění čerpané vody,  
4 – vstřikování páry, 5 – čerpání, 6 – ohnisko znečištění

### **Metody sanace ex situ**

#### **Stripování**

Technologie, která využívá k oddělení těkavých organických látek z podzemní vody plyn (viz. obrázek č. 5). Využívá se rychlého proudu vody, který vzniká rozstříkáváním vody do kapiček [13].



Obrázek. č. 5: Schéma konvenční stripovací věže [8]

- 1 – výstup vzduchu na filtr, 2 – odmlžovač, 3 – distributor vody, 4 – distribuční přepážka, 5 – výplňový materiál, 6 – vzduch, 7 – voda, 8 – vodoměr, 9 – ventil, 10 – průtokoměr, 11 – vstup vzduchu, 12 – výstup vody, 13 – přítok vody, 14 – ventilátor, 15 – šoupě, 16 – čerpadlo

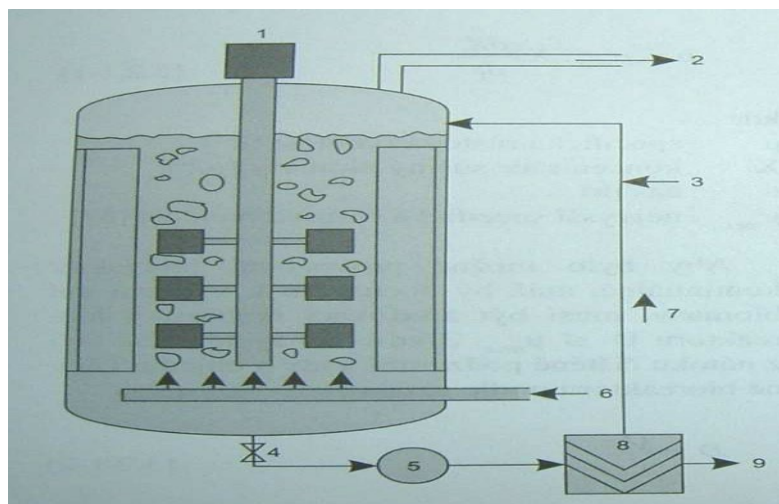
#### **Adsorpce**

Využívá se vysoká sorpční schopnost některých látek např. Chezacarb (saze), dřevní hmota (piliny), aktivní uhlí, rašelina, hydrofobizované hmoty (Vapex, Perlit), apod. [14].

#### **Biodegradace**

Kontaminovaná podzemní voda se přivádí do bioreaktorů, kde dochází k odbourávání polutantů. Pro čištění ropných uhlovodíků a paliv, fenolů a dalších organických látek se především používají aerobní bioreaktory (viz. obrázek č. 6). Technologie je využívána nejen k čištění kontaminovaných podzemních vod, ale i průmyslových odpadních a průsakových skládkových vod [3].





Obrázek č. 6: Mechanicky míchaný bioreaktor [8]

1 – motor, 2 – odpyny, 3 – nátok kontaminované podzemní vody, 4 – ventil, 5 – čerpadlo,  
6 – dodávka vzduchu, 7 – recyklace biomasy, 8 – separátor, 9 – vyčištěná voda

## Odstředění

K separaci se využívá odstředivá síla. Využívá se minimálně. Využití: při úpravách vod nasycených kontaminujícími látkami [15].

## Destilace

Kapalné složky jsou oddělovány podle různého bodu varu. Využití pro velkou škálu polutantů. Energeticky náročná metoda [16].

## Flotace

Kontaminovaná voda se provzdušňuje v reaktoru flokulačním činidlem. Vzduchové bubliny na sebe vážou pak hydrofobní látky. Na hladině vzniká mineralizovaná pěna [17].

## Chemické postupy

Nejpoužívanější postupy patří srážení a koagulace. Důležité je dosáhnout optimální pH (8-9). Pod pH = 8 se nevytvářejí vločky a nad pH = 9 vzniká těžko sedimentující hydroxid hlinitý. Použitím železitých solí možno dosahovat větší rozpětí pH = 9 – 9,5. Tato metoda dosahuje 90 – 99 % odstranění oleje. Vzplývavé látky se odstraní na 60 – 70 % snížení obsahu BSK<sub>5</sub> je 30 – 50 % [2].

### **Reverzní osmóza**

Pro tuto metodu musí být vyvíjeny vysoké tlaky. Molekuly vody prochází přes polopropustnou membránu z koncentrovaného prostředí do méně koncentrovaného prostředí. Dochází k odseparování látek, které byly obsaženy ve vodě, pomocí čerpadel a tlaku. Před reverzní osmózou musí voda projít procesy filtrace a demineralizace [12].

## **1.3 Nesaturovaná zóna**

Metody sanace nesaturované zóny rozdělujeme na metody *in situ*, tj. sanaci na místě, pod povrchem a *ex situ*, tj. po vytěžení kontaminovaných zemin a hornin proběhne jejich dekontaminace [5].

### ***Metody sanace in situ***

#### **Bioventing**

Metoda spojena ke stimulaci růstu bakterií, např. pomocí vsakované vody do prostředí. Bioventing slouží k obohacování nesaturované zóny kyslíkem. Bioventing se používá na odstranění kontaminantu v lokalitě s nedostatkem kyslíku [18].

#### **Promývání**

Nesaturovaná zóna je promývána vodou z povrchu, vsakovacími vrty, rýhami apod. Voda je vyčerpána zpět na povrch nebo by měla být použita některá z metod sanace podzemní vody *in situ*. K urychlení vymývacích procesů je možné použít další látky, např. detergenty [19].

## 2 HISTORIE LAGUN

Současná skládka odpadů s. p. DIAMO v Ostravě, známá pod názvem laguny OSTRAMO, vznikla ukládáním odpadu z rafinérské výroby na konci 19. století. Od roku 1965 je odpad ukládán z regenerace upotřeбенých mazacích olejů státního podniku OSTRAMO Ostrava. Od konce 70. let bylo zvažováno ukončení provozu z důvodu havarijních úniků látek z lagun a negativního vlivu na životní prostředí. V roce 1992 byla změna majitele podniku na OSTRAMO - Vlček a spol., s. r. o. [20].

Lagunami je označován skládkový areál o ploše cca 7 ha (viz. obrázek č. 7). Areál skládky je tvořen lagunami dnes označovanými R0, R1, R2, R3 a přilehlým okolím [21].

Z historického hlediska je pozoruhodné, že ještě před deseti lety bylo v souvislosti s lagunami hovořeno pouze o lagunách označovaných R1, R2, R3. V souvislosti s přípravou zpracování analýzy rizika byla pozornost zaměřena na prostor mezi lagunou R1 a čistírnou haldových vod, kde byla objevena a ověřena historická laguna R0 [21].

Skládku tedy tvoří komplex tří lagun (označených R1 až R3) oddělených hrázemi se zemními valy o výšce cca 5 m nad okolním terénem a jedna laguna (označena R0) založená pravděpodobně na počátku 20. století v jámě zeminu bývalé cihelny. Existence této laguny byla potvrzena až v roce 1999. Laguny jsou založeny na povodňových náplavových materiálech údolní nivy, resp. na navážkách bez dnové izolace a drenážního systému. Dodatečné odizolování lagun bylo provedeno v letech 1972 až 1992 podzemní těsnicí stěnou [21].

Laguna R1 byla postavena přibližně za druhé světové války a údajně sloužila pro odpady z rafinace surových minerálních olejů, která v té době začala. Nádrž byla následně zasypávána stavební sutí. Laguna R1 obsahuje přibližně 126 000 tun směsi kalů a suťových materiálů. Plocha laguny je 1,2ha, povrch je nepevný, kapalné odpady prosakují často až k povrchu terénu [21].

Laguna R2 byla postavena počátkem šedesátých let. Je již zcela zaplněna a obsahuje přibližně 135 000 tun odpadu. Plocha laguny je 1,5 ha. Na leteckém snímku z roku 1970 je laguna R2 již v dnešních rozměrech. Z báze laguny R1 jsou do ní vytlačovány kaly vlivem přetížení od nadložních suťových materiálů [21].

Laguna R2 je zaplněna odpady z rafinace, rozčleněnými do kapalné, kašovitě a polotuhé fáze. Vedle kalů do ní byly zcela jistě po určitou dobu ukládány i bělicí hlinky z rafinace a různé jiné odpady [21].

Laguna R3 (viz. obrázek č. 8) byla postavena v první polovině sedmdesátých let. Skládání do této laguny bylo ukončeno k 31. 7. 1996 v souvislosti se skončením přechodných ustanovení tehdy platného zákona o odpadech. Laguna obsahuje 178 500 t kapalných kašovitých a pevných odpadů a její plocha je 2,3 ha. [21].

V roce 1994 byla uvedena do provozu čistírna odpadních (haldových) vod čerpaných z prostoru mezi těsnicími stěnami a čerpání volné kapalné fáze ropných látek na hladině podzemní vody vně těsnicí stěny. Od roku 2003 je v provozu vodní dílo „Havarijní nápravná opatření“ k zamezení šíření kontaminace ropných látek vně těsnicí stěny, zahrnující drenážní systém s dekontaminací čerpaných a zapouštěných podzemních vod a monitorovací profil vystrojených hydrogeologických vrtů na výstupu podzemní vody z lokality [21].

Drenážní systém je od listopadu 2004 uveden do trvalého provozu a od srpna 2005 ho zajišťuje provozovatel AQUATEST a.s., člen „Sdružení ČISTÁ OSTRAVA“, které je vybraným dodavatelem sanace lagun. Čerpání a čištění podzemních vod je prováděno pod pracovním názvem „ochranné čerpání“ [21].

## **2.1 Monitoring výskytu rostlin živočichů na lagunách**

### **Ostramo**

V lokalitě byl průběžně monitorován výskyt živočichů, především s ohledem na druhy chráněné legislativou. Monitoring byl prováděn průběžně od samého zahájení pracovních činností na lagunách.

Lokalitu charakterizuje výskyt těchto živočichů:

- Saranče modrokřídlá (*Oedipoda coerulescens*) - vyprahlé suché lokality s řídkou vegetací.
- Vážka obecná (*Sympterygus vulgatum*) – stojaté vody různého typu.
- Babočka paví oko (*Inachis io*) – běžný druh, nejrozšířenější biotopy.
- Babočka kopřivová (*Aglais urticae*) – všude v otevřené krajině.

- Babočka bodláková (*Vaessa cardui*) - slunné biotopy s výskytem hostitelských rostlin.
- Ještěrka obecná (*Lacert agilis*) – v okrajových částech, svahy, komunikace, kolejiště. Činnosti na lagunách tento druh neohrožují.
- Bažant obecný (*Phasianus colchicus*) – na lokalitě hnízdí a vyvádí mláďata.
- Holub domácí (*Columba livia*) – na lokalitě nehnízdí, ale zalétává sem, občas je sražen větrem do lagun
- Červenka obecná (*Erithacus rubecula*) – obývá okraje lagun
- Kos černý (*Turdus merula*) – všude přítomný druh
- Drozd zpěvný (*Turdus philomelos*)
- Sýkorka koňadra (*Parus major*)
- Králík obecný (*Oryctolagus cuniculus*)
- Zajíc polní (*Lepus europaeus*)
- Hraboš polní (*Microtus arvalis*)

Srnec obecný (*Capreolus capreolus*) – vyskytuje se v okolí lagun, mimo oplocení [21].

Na konci loňského roku museli záchranáři ze Stanice na záchranu živočichů v severomoravských Bartošovicích utratit 23 labutí. Většina vodních ploch je zamrzlá, zapadaná sněhem. Lesklé povrchy lagun se pro ptáky stávají osudnými. Chemikálie v lagunách obsahují transformátorové oleje, což jsou polychlorované bifenylly, a ty obsahují jed, který nelze z organismu nijak odstranit [22].

Lokalitu charakterizuje výskyt těchto dřevin [21].:

- Topol černý (*Populus nigra*)
- Bříza Bělokorá (*Betula pendula*)
- Topol Osika (*Populus tremula*)
- Jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior*)
- Hloh obecný (*Crataegus laevigata*)
- Bez černý (*Sambucus nigra*)

- Vrba bílá (*Salix alba*)
- Lípa srdčitá (*Tilia cordata*)
- Topol osika (*Populus tremula*)
- Olše lepkavá (*Alnus glutinosa*)
- Trnovník akát (*Robinia pseudoacacia*)
- Dub letní (*Quercus robur*)
- Svída bílá (*Cornus alba*)
- Smrk pichlavý (*Picea pungens glauca*)
- Borovice lesní (*Pinus sylvestris*)
- Javor mleč (*Acer platanoides*)
- Ptačí zob (*Ligustrum vulgare*)
- Jilm hrabolistý (*Ulmus carpinifolia*)
- Trnovník akát (*Robina pseudoacalia*)
- Ořešák královský (*Juglans regia*)

## 2.2 Obsah lagun

Skládka odpadů obsahuje:

- zbytky rafinace upotřebených minerálních olejů (UMO) a odpad z destilačního odvodnění - olejovitá kapalina, směs kapalných uhlovodíků, nečistot a vody
- kyselé pryskyřice - černá viskózní látka výrazného zápachu, směs pryskyřicových aromatických uhlovodíků, obsahující zbytky sulfonačních, oxidačních a kondenzačních reakcí
- louhové vody a kaly - směs vznikající při neutralizaci kyselého olejového polotovaru hydroxidem sodným
- odpadní bělicí hlinka - odpad z filtrace horkého kontaktu bělicí hlínky se základovým olejem a parafinem - černá kašovitá hmota s obsahem až 40 % olejových podílů

- kal z úpravy napájecí vody a čištění kotlů - směs uhličitanu a hydroxidu vápenatého s příměsí křemičitanů a úsad z kotlů
- sedimentační kal z chladících věží - směs nerozpustných látek z oderské a cirkulační vody
- ropné kaly z ČOV - směs upotřebených olejů, mechanických nečistot a uhličitanu vápenatého [21].

V menším množství se rovněž používal i trichlorethylen. Dalším kontaminantem z minulosti mohou být některé deriváty aromatů (kresoly). Dalšími kontaminanty mohou být těžké kovy. Odpady byly na skládku ukládány volně, proto se obsah skládek vyznačuje vysokou nehomogenitou [23].

Laguna	Plocha [ha]	Voda [m <sup>3</sup> ] * <sup>1)</sup>	Olej [m <sup>3</sup> ]	Měkký kal [m <sup>3</sup> ]	Pevný kal [m <sup>3</sup> ]	Celkem
R0	1,9	Nerozlišeno				104 000
R1	1,2	Nerozlišeno				74 979
R2	1,5	2 200	2 270	37 730	48 861	91 061
R3	2,3	10 400	23 298	33 409	42 376	109 483
Celkem	6,9					379 523

Tabulka č. 1 Přehled objemů a konzistence odpadů [23]

Ve svrchní části laguny R3 a místy i R2 s volnou hladinou kapalně náplně se nachází kapalná fáze odpadů sestávající se ze srážkové vody a oleje. Volná olejová fáze a atmosférická voda vytvářejí dvě samostatné vrstvy o odlišné objemové hmotnosti. Olej a zaolejované vody se z laguny R3 odčerpávají a jsou upravovány na čistírně haldových vod. Obsah vody je proto proměnlivý [21].

Celkové množství nebezpečných odpadů a kontaminovaných materiálů, které bude v rámci sanace využito nebo odstraněno, včetně specifikace obsahu a náplně jednotlivých lagun, uvádí následující tabulka:

Laguna	Fáze	Množství celkem	Množství celkem
		[m <sup>3</sup> ]	[t]
R3	Kapalná fáze	20 188	20 651
	Kašovitá fáze	26 032	28 606
	Tuhá fáze - vlastní náplň laguny	25 044	28 800
	- navážky	23 258	26 747
	- hmota pod panely a panely	27 809	31 980
	- těleso spojovací hráze	1 581	1 818
	- těleso hráze až po milánské stěny	24 940	39 904
	Tuhá fáze celkem		129 249
R2	Kapalná fáze	2 270	2 322
	Kašovitá fáze	37 730	42 710
	Tuhá fáze - vlastní náplň laguny	48 861	57 070
	- navážky (nad hladinou)	1 758	2 053
	- těleso spojovací hráze	1 304	1 523
	- těleso splazu	237	277
	- těleso hráze až po milánské stěny	9 213	14 741
	- těleso svahu hráze	8 934	14 294
	Tuhá fáze celkem		89 958
R1	Kašovitá fáze	16 442	20 520
	Tuhá fáze - vlastní náplň laguny	58 537	88 625
	- těleso hráze až po milánské stěny	10 542	16 867
	Tuhá fáze celkem		105 492
R0	Tuhá fáze celkem	120 418	189 057

Tabulka č. 2 Celkové množství nebezpečných odpadů a kontaminovaných materiálů [24]

### 2.2.1 Složení odpadů a kontaminovaných materiálů

Každá z lagun vznikala v jiné době a složení odpadů a kontaminovaných materiálů je tvořena materiály jiného charakteru.

Obsahem laguny R0 jsou v převažujícím množství odpady z petrochemické výroby - pryskyřice, hlinka, parafin a těžké ropné kaly, v menších podílech jsou přítomny směsi inertních materiálů a odpadů charakteru hlušiny, popílku, škváry a stavební suti. Veškerý materiál náplně laguny je silně prosycený ropnými látkami a vykazuje mimořádný zápach. Charakter kontaminace náplně laguny R0 je velmi podobný s náplní laguny R1 [21].



Náplň laguny R1 má směsi hlín, haldoviny, škváry a zejména odpadů z rafinérie (parafín, pryskyřice, kaly) většinou tuhé konzistence. Ojedinele se pod terénem vyskytují slabě zvodnělé tekuté kaly. Povrch laguny je překryt stavebním odpadem a ne příliš mocným hlinitým pokryvem a náletovými dřevinami [21].

Náplně lagun R2 a R3 si zachovávají vlastní stratifikaci, založenou na způsobu a době ukládání odpadů, materiály tužší konzistence - především zbytky bělicí hlíny promísené s kaly. Povrch laguny R2 je pak po celé ploše tvořen polotuhými kaly charakteru olejem prosycených slatin. V hloubce cca 3,8 až 4 m pod povrchem, jsou přítomny velmi tuhé kaly, změna je ale patrná pouze v konzistenci materiálu. Specifickým rozdílem laguny R3 je přítomnost tekuté fáze na povrchu laguny, tvořené vrstvou oleje a vody v mocnosti 0,7 až 1,1 m [21].

### 2.2.2 Kontaminace vod

V Lagunách Ostramo jsou čtyři druhy kontaminovaných vod, které se rozlišují chemickým složením. Nepolární extrahovatelné látky (NEL) jsou nejvýznamnějším organickým kontaminantem lokality.

složka	jednotka	Hodnota
Chloridy	mg/l	131
Sírany	mg/l	40000 – 71000
Fosforečnany	mg/l	883
RAS	mg/l	103000
Draslík	mg/l	1500
Hliník	mg/l	6550
Hořčík	mg/l	3030
Sodík	mg/l	2150
Vápník	mg/l	576
Železo	mg/l	17000
PAL-A	mg/l	20 (až 600)
NEL	mg/l	3,8 (až 20)

Tabulkač. 3 Předpokládané průměrné chemické složení lagunových vod [25]

#### Lagunové vody

Jedná se o vody v tělesech lagun na povrchu lagun a vody obsažené v odpadech s obsahem Nepolárních extrahovatelných látek (NEL), Al, Fe, SO<sub>4</sub> a dalších kontaminantů jako jsou PAL-A, BTEX, CIU, PAU atd. Jedná se především o vody srážkového původu vyluhující gudróny a olejovou fázi [21].

### **Podzemní vody uvnitř PTS**

Jedná se o podzemní vody obsažené ve štěrkovém kolektoru uvnitř podzemní těsnicí stěny (PTS), velmi vysoké mineralizace, nízkého pH, stabilních hodnot s vysokým obsahem Al, Fe, SO<sub>4</sub>, s výjimkou ropných látek ve volné fázi [21].

### **Navážkové podzemní vody**

Vody nespojitě obsažené v navážkách, které jsou shromážděné na hydraulickém izolátoru náplavových hlín, vyznačující se zvýšenými obsahy NEL a PAL-A. Vody se vyznačují zvýšenými obsahy síranů vlivem úniků kyselých vod z prostoru lagun [21].

### **Podzemní vody údolní štěrkové terasy**

Jedná se o podzemní vody ze štěrkové údolní terasy řeky Odry. Vody v okolí lagun jsou kontaminovány kontaminací PAL-A, a výskytem volné fáze RU. Podružně se zde uplatňují zvýšené obsahy síranů [21].

### 3 TECHNOLOGICKÝ POSTUP SANACÍ V LAGUNÁCH OSTRAMO

Voda je odčerpávána do čistírny haldových vod a po přečištění vypouštěna do kanalizace. Vody jsou odtěžovány v kapalně nebo kašovitě formě. Po neutralizaci a odstředění jsou lagunové vody částečně vráceny do laguny, a částečně odváděny k přečištění na čistírnu lagunových vod. Po odtěžení gudrónů (kalů) jsou silně mineralizované lagunové vody ( $> 5 \text{ g/l}$ ) odčerpávány přímo do zásobníkové nádrže a gravitačního odlučovače čistírny vod. Méně mineralizované vody jsou přečišťovány na dekontaminační stanici podzemních vod [25].

Z obsahů jednotlivých kontaminantů jde o zvýšené koncentrace anionaktivních tenzidů, hliníku a chlorovaných uhlovodíků, které převyšují hodnoty kritéria. Dochází i k mírnému výskytu obsahu PAU [25].

#### 3.1 Sanace lagunových vod

Před zahájením sanačních prací jsou gudrony lagun R1 a R2 překryty PEHD fólií pro zamezení úniku emisí. Srážkové a další vody obsažené v gudronech jsou odčerpávány do čistírny lagunových vod. Celý proces je průběžně monitorován. Po odtěžení kapalně a kašovitě fáze gudronů jsou srážkové vody odváděny do dekontaminační stanice podzemních vod (viz. schéma č. 1). Srážkové a lagunové vody jsou odčerpávány čerpadly KSB AMAPOTER 50 a KSB AMA DRAINER A522/11. Odčerpávání srážkové vody z prostoru s kapalnou fází je odčerpáváno cca  $0,75 \text{ m}^3$  srážkových vod ročně z  $\text{m}^2$  povrchu laguny. V místech bez výskytu volné fáze RU a s umožněním výparu se odčerpává v množství min.  $0,1 \text{ m}^3$  srážkových vod ročně z  $\text{m}^2$  povrchu laguny [21].

Čistírna lagunových vod (ČLV) je automatizované pracoviště umístěné v areálu. Hala ČLV navazuje na halu dekontaminační stanice podzemních vod s betonovou nepropustnou podlahou, na které je záchytná vana o objemu cca  $70 \text{ m}^3$ . V hale jsou technologická zařízení (zásobní nádrže, reaktory, čerpadla apod.). Chemikálie se dávkuje dle aktuálního průtoku kontaminované vody a na základě měřeného a požadovaného pH. Před halou jsou dvě zásobní sila na vápenný hydrát, zásobník na kapalný  $\text{CO}_2$  a nepropustná odkalovací jímka.

Projektovaná maximální kapacita zařízení je 2,5 l/s tj. 9 m<sup>3</sup>/hod. Předpokládaná průměrná provozní kapacita je 2,2 l/s tj. 8 m<sup>3</sup>/hod. Vody čerpané do ČLV při zpracování a odtěžení ropných kalů a při odtěžení zemin z lagun jsou čerpány z centrálních akumulčních jímek vytvořených přímo v prostoru lagun (v R2 a v R3), případně z menších sběrných rozdělovacích jímek, které jsou dle potřeby vybudovány v rámci sanace nenasaturované zóny přímo v lagunách v blízkosti místa odtěžení. Pokud jsou v čerpaných vodách větší podíl hrubých nečistot (zejména v období odtěžení zemin), jsou vody vedeny nejprve do odkalovací jímky umístěné mimo budovu ČLV a teprve poté do akumulční nádrže ČLV [21].

Kontaminované vody jsou v ČLV čištěny kombinací fyzikálních, fyzikálně - chemických a chemických metod – použitá metoda gravitačního odloučení olejů. Hrubší podíly nerozpuštěných látek, organická fáze ropných uhlíků jsou oddělovány ve venkovní odkalovací jímce. Rozpuštěné organické látky, anionaktivní tenzidy jsou odstraňovány sorpcí na práškovém aktivním uhlí. Sírany, železo, hliník a další kovy jsou odstraňovány srážením, a to neutralizací vápenným hydrátem. Po srážení je prováděna úprava pH sycením oxidem uhličitým. Vysrážené kontaminanty jsou z vody odloučeny tlakovou filtrací na kalolisu [25].

Vyčištěná voda je pomocí zasakovacího systému vedena do horninového prostředí nebo je odváděna do veřejné kanalizace OVaK. Čistírna lagunových vod je kompletně automatizované zařízení, u kterého obsluha co nejméně zasahuje do technologického procesu, pouze provádí dozorovou činnost a doplňuje chemikálie. Veškeré důležité veličiny jsou monitorované systémem MaR a převáděny do společného velínu [21].

### **3.2 Sanace uvnitř podzemní těsnící stěny (PTS)**

Při sanaci saturované zóny uvnitř PTS jsou použity dvě základní technologie:

- udržovací drenážní čerpání
- promývání saturované zóny

### **Udržovací drenážní čerpání**

Po odtěžení kontaminovaných materiálů včetně volné fáze RU jsou v nekontaminované zóně průběžně budovány mělké horizontální zářezy v intervalu po cca 30 m, přes celou šířku příslušné laguny. V intervalu 60 m jsou jednotlivé zářezy zaústěny do sběrných jímek. Do jednotlivých jímek budou osazena čerpadla typu KSB AmaDrainer 303SE a KSB AmaDrainer A522/11 s plovákovými spínači pro udržování hladiny podzemní vody pod povrchem nekontaminovaných zemin [25].

### **Promývání saturované zóny**

Pro účely proplachování je vybudována síť čerpacích vrtů. Ty jsou použity k infiltraci proplachované vody. Do sběrných jímek je vloženo zasakovací potrubí PE DN 40 z dekontaminační stanice. Ve sběrných jímkách jsou instalovány hladinové sondy pro řízení zasakování přečištěné vody. Přečištěné vody k zasakování budou přiváděny z čistírny lagunových vod, dekontaminační stanice a jímácích vrtů do prostoru lagun potrubím 3x PE DN 63. Sběrná potrubí ústí do přečerpávacích nádrží o objemu 1 m<sup>3</sup>. Z těchto nádrží je voda přečerpávána horizontálními čerpadly META 50-30-200 v prvních třech proplachovacích cyklech do čistírny lagunových vod a v dalších 7 cyklech do dekontaminační stanice podzemních vod.

Přečištěná voda je využita pro proplach horninového prostředí, nebo utrácena zásakem do podzemních vod vně podzemní těsnicí stěny. V průběhu odčerpávání je prováděn monitoring čerpané vody z jednotlivých řad vrtů a monitoring vstupu i výstupu vod na čistírně lagunových vod a dekontaminační stanici [25].

### **Sběrné jímky**

Sběrné jímky jsou vyztuženy pažnicemi o rozměrech 1 x 1 x 1,3 m. Dno jímky je zapuštěno minimálně 0,5 m pod nejnižší úroveň drenážní báze a osazena čerpadly KSB AMAPOTER 50 s plovákovým spínačem [21].

### **Sanační čerpací vrty**

Čerpací vrty jsou vyhloubeny do hloubky cca 7 m, do nepropustného terciárního podloží. Perforovaná část zárubnice bude obsypána štěrkem 4 - 8 mm a plná část bude zatěsněna jílem. Svrchní část vrtu je osazena ochranným ocelovým záhlavím a zafixována jílocementovou směsí [25].

### Jímací vrty

Jímací vrty jsou vyhloubeny do hloubky cca 15 m, do nepropustného terciárního podloží. Dna vrtů jsou zaslepena. Perforovaná část zárubnice je obsypána štěrskem 4 - 8 mm a plná část zatěsněna jílem. Svrchní část vrtu je osazena ochranným ocelovým záhlavím a zafixována jílocementovou směsí [25].

Kontaminované vody jsou v ČLV čištěny kombinací stejným způsobem jako sanace lagunových vod. Měsíční množství přečištěných vod uvádí tabulka č. 3. V období 2010 bylo přečištěno 34 479 m<sup>3</sup> lagunové vody. Měření objemu přečištěných vod na ČLV bylo prováděno na vodoměru v monitorovacím bodě MB-212: 34 773 m<sup>3</sup>, od kterého byla odečtena naměřená hodnota na vodoměru v monitorovacím bodě MB-202: 294m<sup>3</sup>[26, 27].

V období 2010 bylo přečištěno 22 660 m<sup>3</sup> lagunové vody. Z prostoru uvnitř PTS lagun Ostramo bylo tedy v roce 2011 odvedeno a přečištěno 19 875 m<sup>3</sup> lagunových vod [26, 27].

Monitorovací bod	leden 2010	únor 2010	březen 2010	celkem
<b>MB-212</b>	0	0	0	
Monitorovací bod	duben 2010	květen 2010	červen 2010	
<b>MB-212</b>	0	3 702	5 497	
Monitorovací bod	červenec 2010	srpen 2010	září 2010	
<b>MB-212</b>	4 958	5 953	4 879	
Monitorovací bod	říjen 2010	listopad 2010	prosinec 2010	
<b>MB-212</b>	3 086	4 529	1 875	34 479

Tabulka č. 4: Přehled přečištěných množství na ČLV v jednotlivých měsících v m<sup>3</sup> [26]

## 3.3 Sanace saturované zóny vně PTS

### Sanace saturované zóny štěrkové terasy

V prostoru kolejiště na SZ straně lagun R1, R2 a R3 a v prostoru betonárny Frischbeton s.r.o. na jz. straně laguny R3 je realizována sanace saturované zóny štěrkové terasy. V prostorech s do 2 m, jsou navážky sanovány současně se štěrkopískovým kolektorem především technologií biodegradace in situ. V těchto prostorech se vyskytuje podzemní vody NEL, PAL-A se sníženou hodnotou pH (4,5 – 6,5) [25].

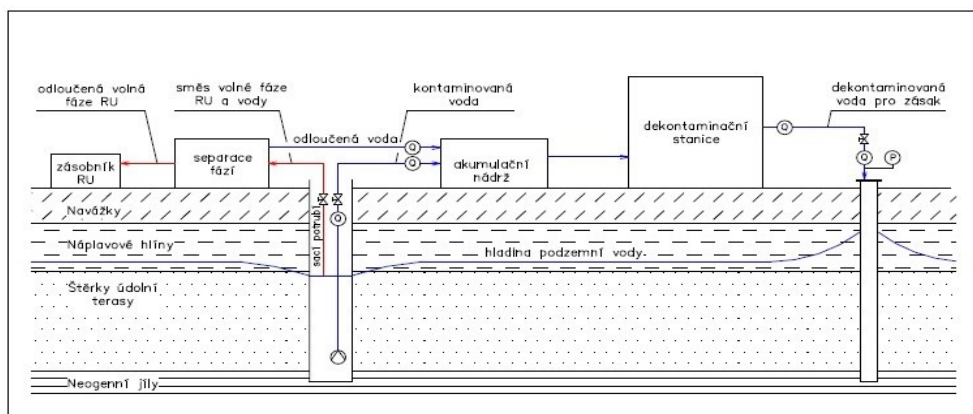
K odstranění kontaminace byly použity technologie:

- Hydraulická sanace
- Biodegradace in situ
- Systém odčerpávání volné fáze RU

### 3.3.1 Hydraulická sanace

Pro hydraulickou sanaci je využíváno čerpání ochranného horizontálního drénu pro zachycení volné fáze RU v prostoru lagun R1, R2, R3 (viz. obrázek č. 7). Horizontální drén je těleso složené z propustného materiálu (většinou kamenivo) široké 1,6m a 580m dlouhé, které je zapuštěné do nepropustného neogenního podloží. Drén je vybaven HDPE perforovaným potrubím o průměru 100mm. Vrchní potrubí je uloženo 0,5 – 1,0m pod stropem štěrkového kolektoru a spodní potrubí je uloženo na dně drénu.

Sběrná potrubí jsou každých 60m vyústěná do betonových jímek, ve kterých se provádí odčerpávání volné fáze RU a ochranné čerpání podzemní vody. V jednotlivých jímkách jsou čerpadla typu PULSAR 50/80M a OVP-2-N. Měření a množství odčerpávané vody se provádí na výtlačku regulačními ventily a vodoměry [21].



Obrázek č. 7 Schéma systému ochranného čerpání horizontálního drénu [21]

Pro hydraulické čerpání podzemních vod v lagunách R3 bylo od roku 2009 použita soustava 19ks sanačních vrtů: AT-201až AT-214, HP-601, HP-602, DPV-1A, DPV-2A, DZV-101. Sanační čerpací vrty do štěrkové byly vyhloubeny do nepropustného terciálního podloží 11 až 14m. Po vyhloubení se vrty vyplnily PVC-U zárubnicí o průměru 160mm. Dna vrtů byla zaslepena. Části zárubnic jsou obsypány štěrkem a část zatěsněna jílem [25].

Sanační čerpací vrty do štěrkové terasy jsou opatřeny čerpadly OVP-2N, napojeny na potrubí HDPE 40/6,9mm, regulačními ventily, vodoměry a přípojkou PE potrubí o průměru 90mm odvádějící vodu čerpanou ze štěrkové terasy do dekontaminační stanice.

Přečištěná voda z dekontaminační stanice podzemních vod je odváděná do zasakovacích vrtů, které jsou součástí ochranného horizontálního drénu a do zasakovacích vrtů sanačního prostoru štěrkové terasy. Zasakovaná voda je z dekontaminační stanice vedená potrubím do jednotlivých sanačních oblastí [25].

Zasakovací vrty souvisí se systémem sanace ochranného horizontálního drénu. Zasakovací vrty byly vybudovány a ukončené ve štěrkopískové údolní terase laguny R3. Zasakovací vrty byly vyhloubeny o průměru 360mm. Po vyhloubení byly vrty osazeny perforovanou HDPE zárubnicí o průměru 160mm do hloubky 7,5m. Dna vrtů jsou zaslepená. Část zárubnice je obsypána štěrkem a část utěsněna jílem [21].

Infiltrací přečištěné vody zasakovacími objekty do štěrkového kolektoru a čerpáním sanační vody jsou vytvořeny vhodné podmínky hydraulické lokality. Ty částečně zamezují rozplavování kontaminace NEL i PAL-A podzemní vodou a umožňují záchyt kontaminace z přilehlých lagun i okolí uvolněné hydraulickým spádem [21].

Z čerpacích jímek horizontálního ochranného drénu a sanačních vrtů je současně čerpána podzemní voda tak, aby vytvořená hydraulická deprese pokrývala co největší území podél hráze lagun R0, R1, R2 a R3 a zároveň byla vytvořena hydraulická deprese v místě kontaminace NEL. Bohužel dochází díky zasakování přečištěných vod u laguny R3 k neúplné hydraulické depresi a průniku části zasakovaných vod do okolí. Čerpací vrty i horizontální ochranný drén jsou pravidelně čištěny.

V roce 2011 bylo celkem odčerpáno dle údajů vodoměrů na jednotlivých čerpacích jímkách 154 834 m<sup>3</sup> podzemních vod [26, 27].

### **3.3.2 Biodegradace in situ s využitím biosparingu**

Pro pročištění lokality a zvýšení efektivity sanace je použita v prostoru kontaminace JZ od laguny R3 a měla být v okolí ochranného horizontálního drénu použita technologie biodegradace in situ s využitím biosparingu [25].

Technologie bioremediace *in situ* je založena na biosparingu, sanačního čerpání, promývání a v růstu bakterií schopných rozkládat znečištění a zároveň v podpoře



autochtonních bakterií. Cílem technologie je využití mikroorganismů, bakterií přítomných v horninovém prostředí a podzemní vodě v dané lokalitě. Pro bioremediační činnosti je nutné vytvořit na lokalitě optimální podmínky [25].

Je efektivní zejména pro sanaci nižších koncentrací kontaminantů. Metodou je možné sanovat velké množství kontaminantů jako paliva, nechlorovaná ředidla, pesticidy a látky na konzervaci dřeva a další organické látky. Nevýhodou je nízká propustnost, která omezuje styk s kontaminanty, není vhodná pro silně heterogenní vrstevnaté prostředí, nízké teploty snižují biodegradaci, velký nárůst bakterií způsobuje snížení propustnosti vrtů a hornin v okolí [28].

Kapalná média jsou do kontaminovaných prostorů vloženy injektáží, aplikačními a spargingovými sondami a zasakovacími drény i vrty. Pro přípravu roztoků je využívána čerpaná a přečištěná voda z dekontaminační stanice přiváděná k zasakování. Kapalná média se do kontaminovaného prostoru aplikují tlakově. Opakovanou aplikací se celý proces urychlí. Vzdušná média (vzdušný kyslík) jsou do kontaminovaných prostorů aplikovány spargingovými sondami pomocí dmychadel. Pro monitoring bioremediačních procesů v půdním vzduchu bylo vyhloubeno 19 ks respiračních vrtů. Objekty jsou napojeny rozvody na dmychadla a aplikační centrum [25].

Proces vyžaduje delší dobu příprav. Nelze provést sanaci celého území. Doba sanací je mezi třemi a pěti léty. Tato technologie se využívá při sanacích starých ekologických zátěží v blízkosti vodních toků nebo, kde jsou významné vodohospodářské zájmy [28].

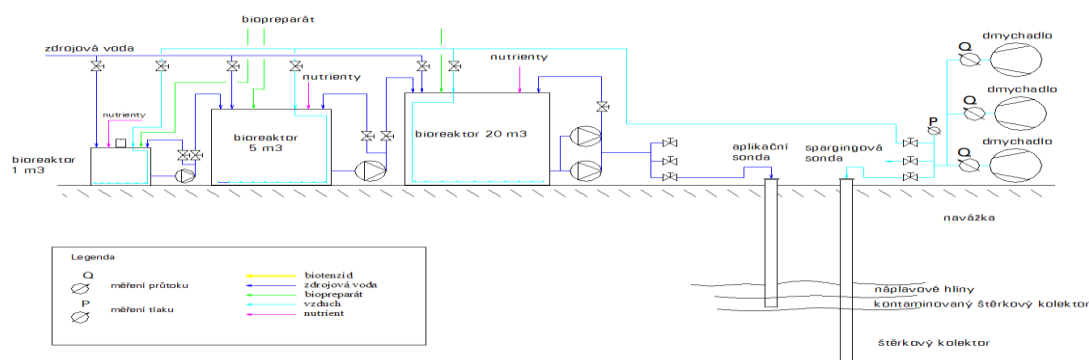
### **Aplikační a spargingové sondy**

Do štěrkových teras a do navážek byly vybudovány zařazením ocelových pažnic Ø 55 mm do horninového prostředí penetrační soupravy na ztracený hrot. Sondy byly poté osazeny PE výstrojí Ø 32 mm s perforací pouze ve spodní části objektu. Mimo perforovanou část výstroje bylo provedeno zatěsnění bentonitocementem. Sondy byly na povrchu osazeny regulačním a vzorkovacím ventilem a napojeny na centrální PE potrubí Ø 90 mm [25].

## Respirační sondy

Do štěrkových teras a do navážek byly vybudovány zařízením ocelových pažnic Ø 55 mm do horninového prostředí pomocí penetrační soupravy na ztracený hrot. Sondy byly poté osazeny PE výstrojí Ø 20 mm s perforací. Tyto sondy byly na povrchu osazeny regulačním a vzorkovacím ventilem. Respiračními sondami je sledována koncentrace těkavých ropných uhlovodíků, kyslíku, oxidu uhličitého a metanu v půdním vzduchu [21].

Tento systém byl zbudován i v okolí ochranného horizontálního drénu.



Obrázek č.8: Systém biodegradace in-situ [25]

Do aplikačního centra (viz. obrázek č. 8) jsou čerpány podzemní vody pro další využití k přečištění. V nádržích a bioreaktorech jsou připravovány roztoky obohacené o aktivní látky, nutrienty a bakteriální inokulum. Potom jdou roztoky do zasakovacích a aplikačních objektů sanace, případně k intenzifikaci bioremediace in situ mohou být i povrchově rozstříkovány. V roce 2010 bylo naaplikováno do horninového prostředí 1 376 m<sup>3</sup> bakteriálního inokula. Aplikace inokula do horninového prostředí byla prováděna cca každý týden s tím, že v podzimních měsících vlivem nízkých teplot docházelo k prodloužení period přípravy bakteriálního inokula [25].

## Složení aplikačního centra:

Aplikační nádrže – plastové nádrže o objemu 1 – 5m<sup>3</sup> pro přípravu vodného roztoku  
Bioreaktory - plastové nádrže o objemu 1,5 – 2x20m<sup>3</sup> pro množení bakteriálních populací.  
Dmýchadla pro biosparing – zdroj tlakového vzduchu pro biosparing podzemní vody [25].

### 3.3.3 Systém odčerpávání volné fáze RU

Pro odčerpávání volné fáze RU z hladiny podzemní vody vrtů je v sanačním prostoru prováděn sacím potrubím se sedmi uzavíratelnými vývody do sběrné nádrže o objemu 3 m<sup>3</sup>. Z této nádrže je po rozdělení fází odváděna vodná fáze do dekontaminační stanice podzemních vod a olejová volná fáze RU do zásobníku volné fáze RU. Volná fáze RU je odebírána a využívána jako C-zdroj v rámci prováděné biodegradace in situ, nebo je odvážena po naplnění zásobníku oprávněnou osobou ke zneškodnění.

Dle údajů z monitorovacích bodů MB-5 a MB-19 bylo vypočteno, že v hodnoceném období bylo prokazatelně separováno (odčerpáno do zásobníku volné fáze RU) 1 037,1 l volné fáze RU (viz. tabulka č. 5) [26].

leden 2010 (l)	únor 2010 (l)	březen 2010 (l)	duben 2010 (l)	celkem (l)
0	96	149	316,3	
květen 2010 (l)	červen 2010 (l)	červenec 2010 (l)	srpen 2010 (l)	
106	0	240	89	
září 2010 (l)	říjen 2010 (l)	listopad 2010 (l)	prosinec 2010 (l)	
0	0	40,8	0	1 037,1

Tabulka č. 5 : Přehled separované volné fáze v jednotlivých měsících [26]

Dle údajů z monitorovacích bodů MB-5 a MB-19 bylo vypočteno, že v hodnoceném období bylo prokazatelně v roce 2011 separováno z čerpacích objektů (**odčerpáno do zásobníku volné fáze RU**) **2 353,67 l** volné fáze RU (viz tabulka č.6) [27].

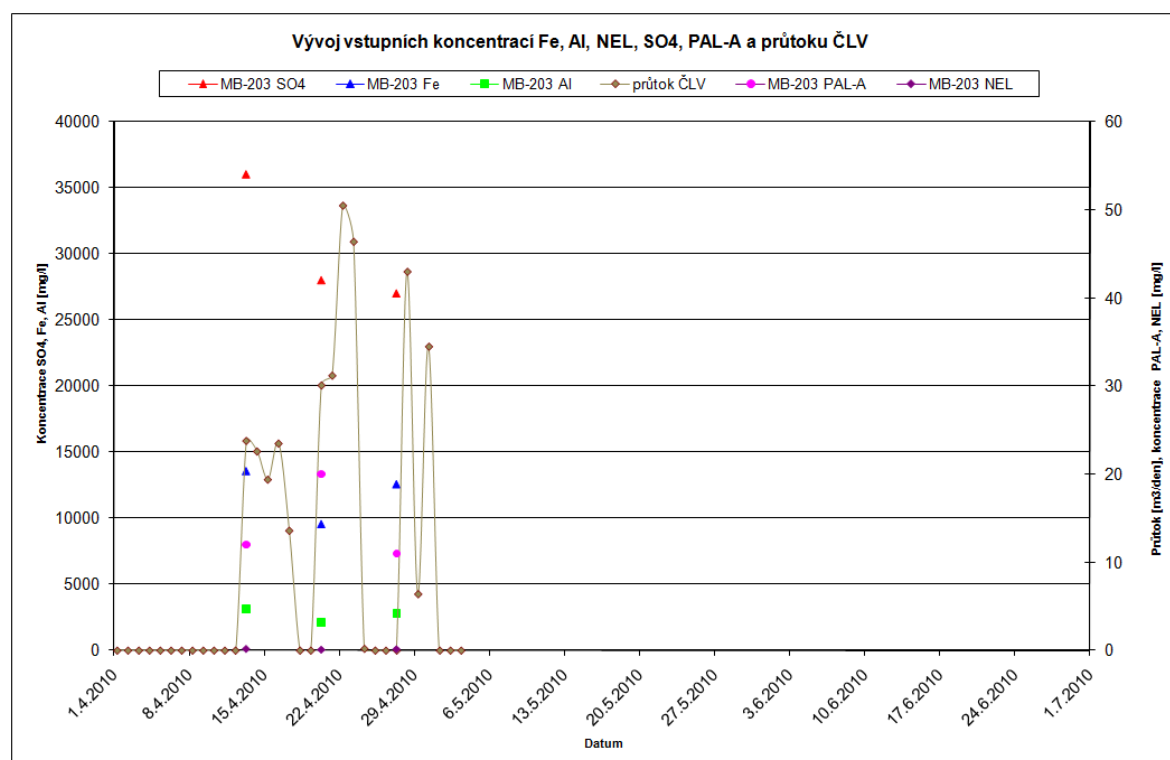
Leden 2011 (l)	Únor 2011 (l)	Březen 2011 (l)	Duben 2011 (l)	celkem (l)
165	165	166	60	
Květen 2011 (l)	Červen 2011 (l)	Červenec 2011 (l)	Srpen 2011 (l)	
75,3	0	-132,1	0	
Září 2011 (l)	Říjen 2011 (l)	Listopad 2011 (l)	Prosinec 2011 (l)	
13,7	1 759,1	68,6	13,07	2 353,67

Tabulka č. 6: Přehled separované volné fáze v jednotlivých měsících [27]

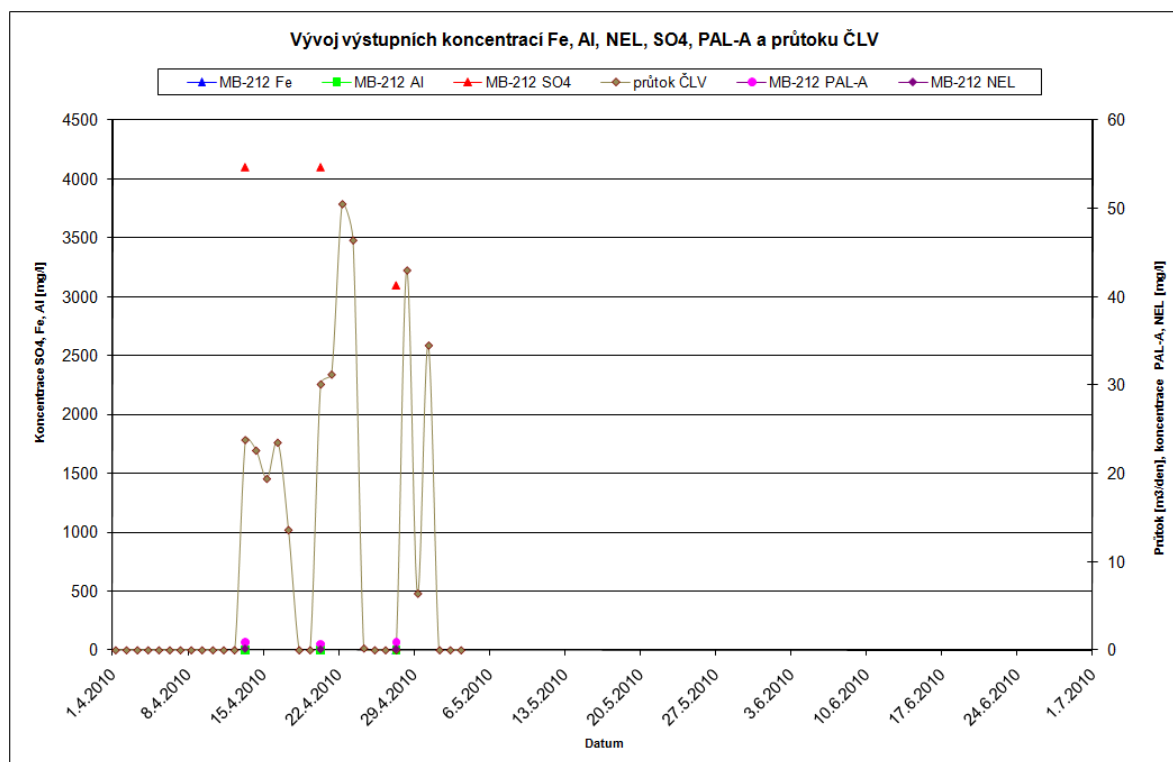
### 3.3.4 Vyhodnocení čističky lagunových vod

Po ukončení technologických zkoušek s kyselými vysoce koncentrovanými vodami, byly zahájeny technologické zkoušky s lagunovými vodami z prostoru zpracování náplní lagun, které se vyznačují extrémně vysokými koncentracemi PAL-A. Tyto zkoušky měli za cíl ověřit funkčnost technologie ČLV a dosažení potřebných výstupních kvalitativních parametrů vod. Z následujících grafů č. 1 a č. 2 je patrný vývoj hodnot koncentrací kontaminantů na vstupu a výstupu z ČLV a průtok [26].

Účinnost dekontaminace sledovaná dle znečištění PAL-A byla dosažena v rozmezí 62,8 – 94,7% (průměrně 87,6%), účinnost odstranění NEL byla v rozmezí 50,0 – 99,8% (průměrně 88,6%). Účinnost odstranění  $\text{SO}_4$ , Fe a Al nebyla vzhledem k nízkým vstupním koncentracím hodnocena [26].



Graf č. 1: Průtok a koncentrace kontaminantů na vstupu do ČLV [26]



Graf č. 2: Průtok a koncentrace kontaminantů na výstupu z ČLV [26]

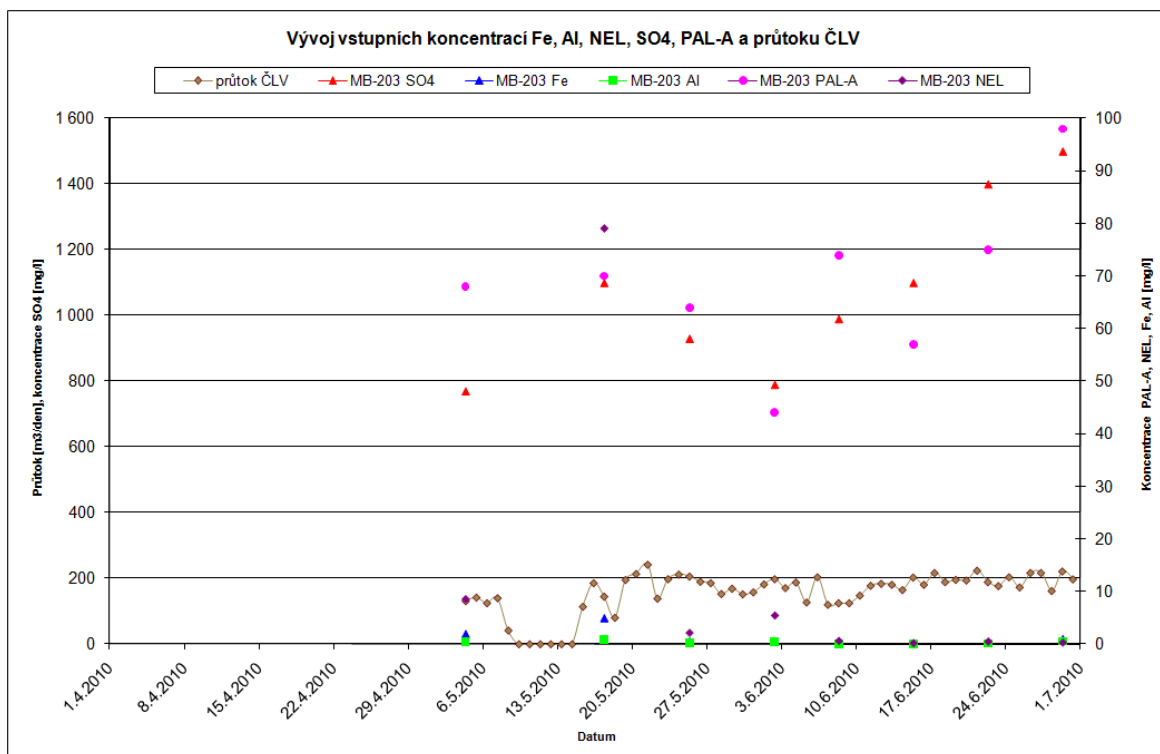
Jak je patrné z těchto grafů, koncentrace Fe, Al,  $\text{SO}_4$  a NEL mají velmi nízké hodnoty již na vstupu do ČLV (zanedbatelné oproti hodnotám v kyselých koncentrovaných lagunových vodách a nižší než stanovené limity). Oproti tomu hodnoty PAL-A se vyskytují ve velmi vysokých hodnotách blížících se 100 mg/l [26].

Účinnost dekontaminace (viz. tabulka č. 7) sledovaná dle znečištění PAL-A byla dosažena v rozmezí 62,8 – 94,7% (průměrně 87,6%), účinnost odstranění NEL byla v rozmezí 50,0 – 99,8% (průměrně 88,6%). Účinnost odstranění  $\text{SO}_4$ , Fe a Al nebyla vzhledem k nízkým vstupním koncentracím hodnocena [26].

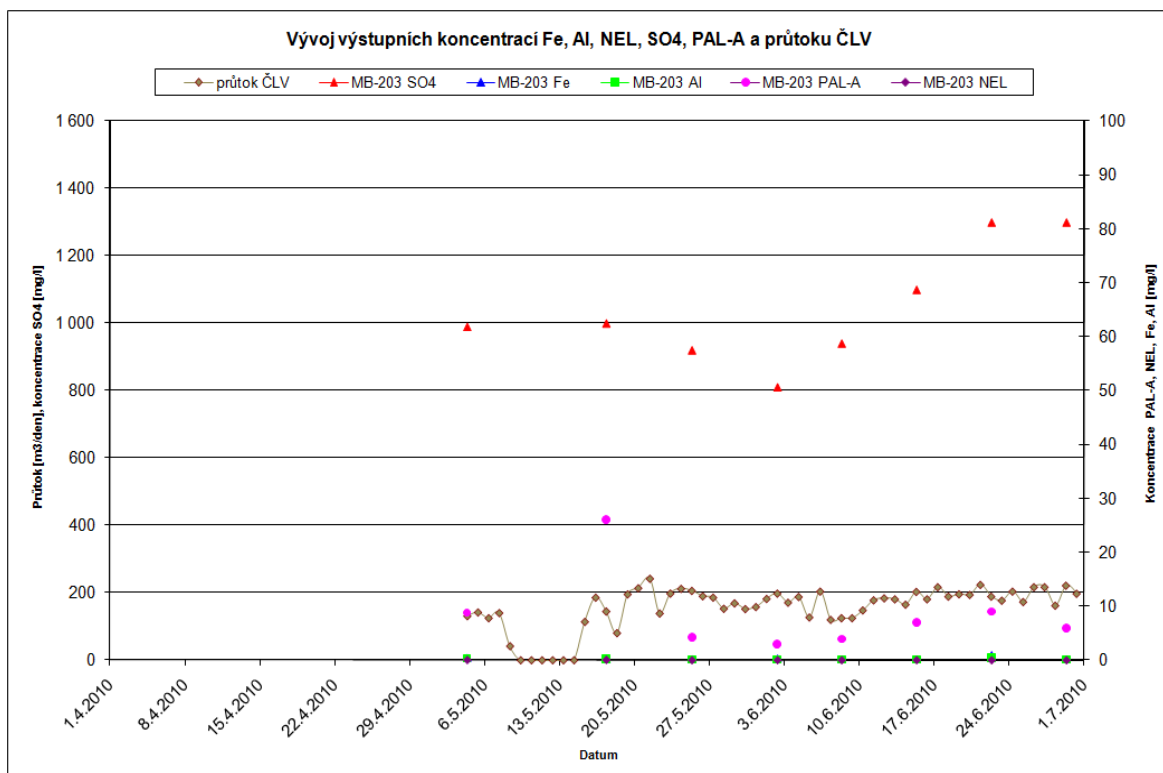
		<i>vstup MB-203</i>	<i>výstup MB-212</i>	<i>Odstraněno</i>	<i>Účinnost</i>
PAL-A	Kg	5,27	0,27	5,00	94,9%
Fe	Kg	4 565,29	0,14	4 565,15	100,0%
NEL	Kg	0,07	0,03	0,04	57,3%
Al	Kg	1 029,59	0,28	1 029,31	100,0%
$\text{SO}_4$	Kg	11 565,80	1 221,01	10 344,79	89,4%

Tabulka č. 7: Účinnost ČLV z hmotnostní bilance kontaminantů – komplexní zkoušky solanky [26]

Z následujících grafů č. 3 a č. 4 je patrný vývoj hodnot koncentrací kontaminantů na vstupu a výstupu z ČLV a průtok.

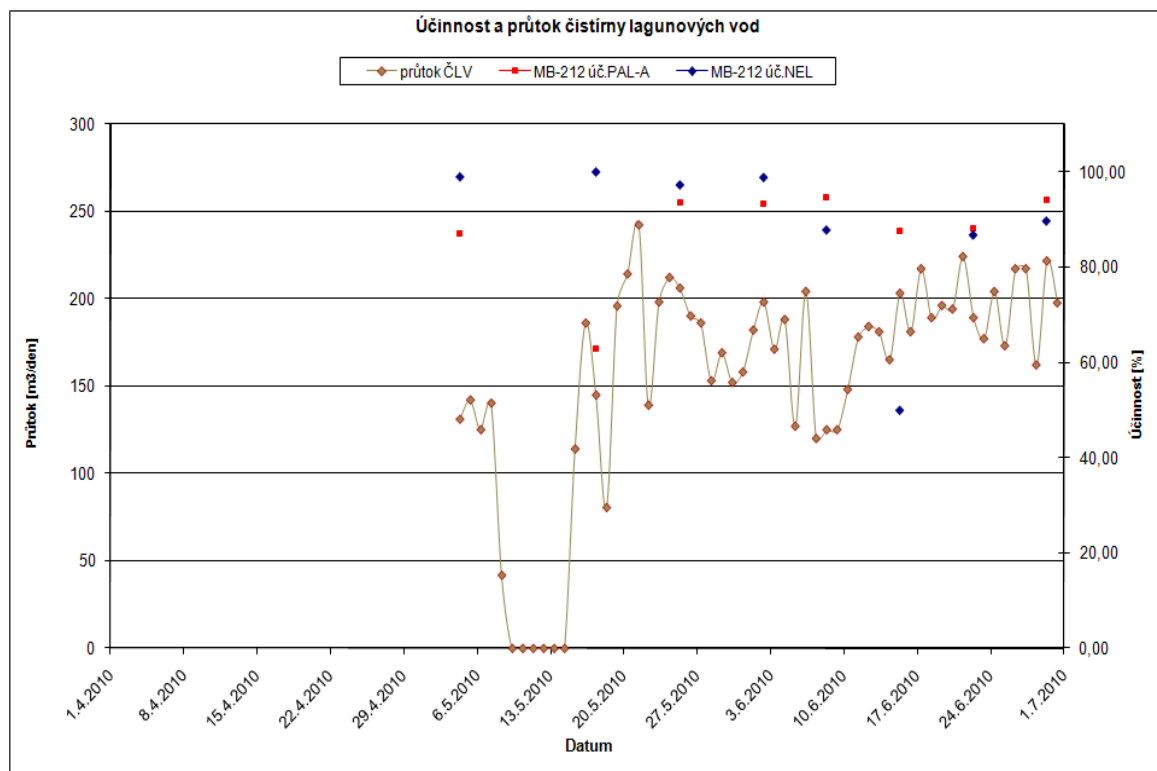


Graf č. 3: Průtok a koncentrace kontaminantů na vstupu do ČLV [26]



Graf č. 4: Průtok a koncentrace kontaminantů na výstupu z ČLV [26]

Jak je patrné z těchto grafů, koncentrace Fe, Al, SO<sub>4</sub> a NEL mají velmi nízké hodnoty již na vstupu do ČLV (zanedbatelné oproti hodnotám v kyselých koncentrovaných lagunových vodách a nižší než stanovené limity). Oproti tomu hodnoty PAL-A se vyskytují ve velmi vysokých hodnotách blížících se 100 mg/l [26].



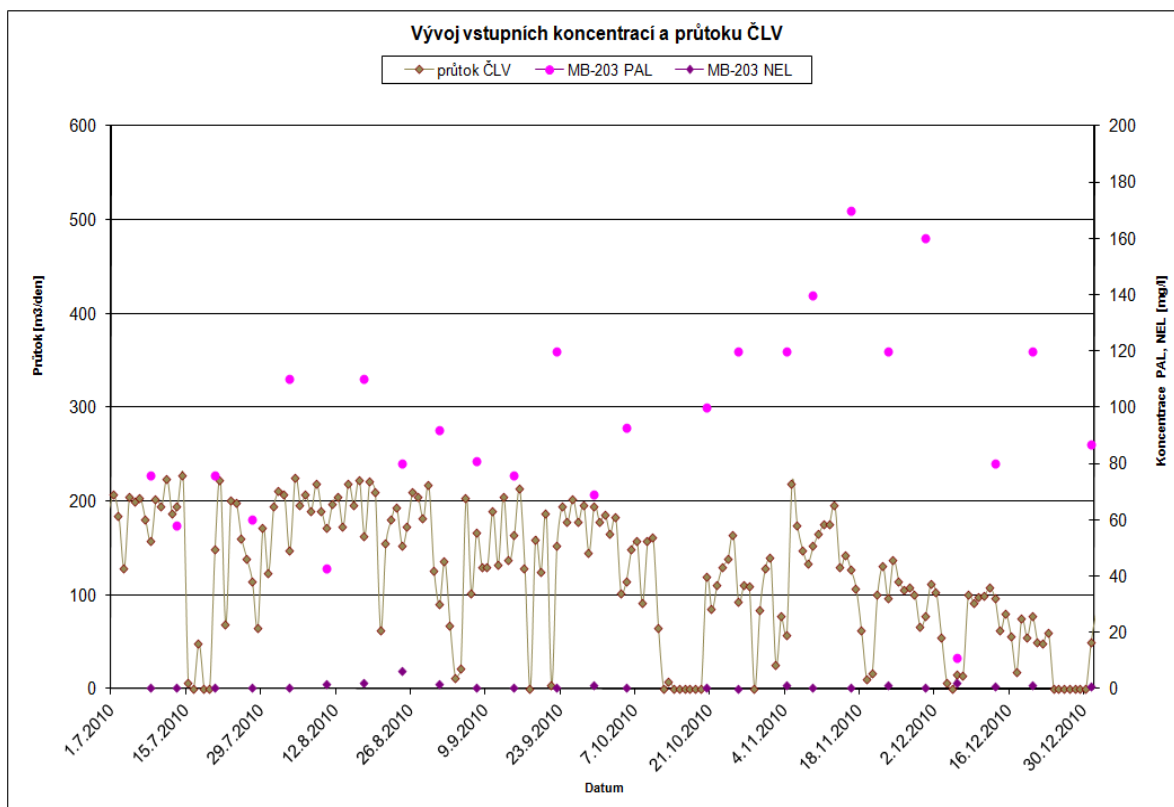
Graf č. 5: Průtok a účinnost ČLV [26]

Účinnost dekontaminace (viz. graf č. 5) sledovaná dle znečištění PAL-A byla dosažena v rozmezí 62,8 – 94,7% (průměrně 87,6%), účinnost odstranění NEL byla v rozmezí 50,0 – 99,8% (průměrně 88,6%). Účinnost odstranění SO<sub>4</sub>, Fe a Al nebyla vzhledem k nízkým vstupním koncentracím hodnocena. Účinnosti vypočtené z hmotnostních bilancí vstupu a výstupu z ČLV jsou uvedeny v tabulce č. 8 [26].

		<i>vstup MB-203</i>	<i>výstup MB-212</i>	<i>Odstraněno</i>	<i>Účinnost</i>
PAL-A	kg	576,59	70,55	506,04	87,8%
NEL	kg	81,05	0,62	80,44	99,2%

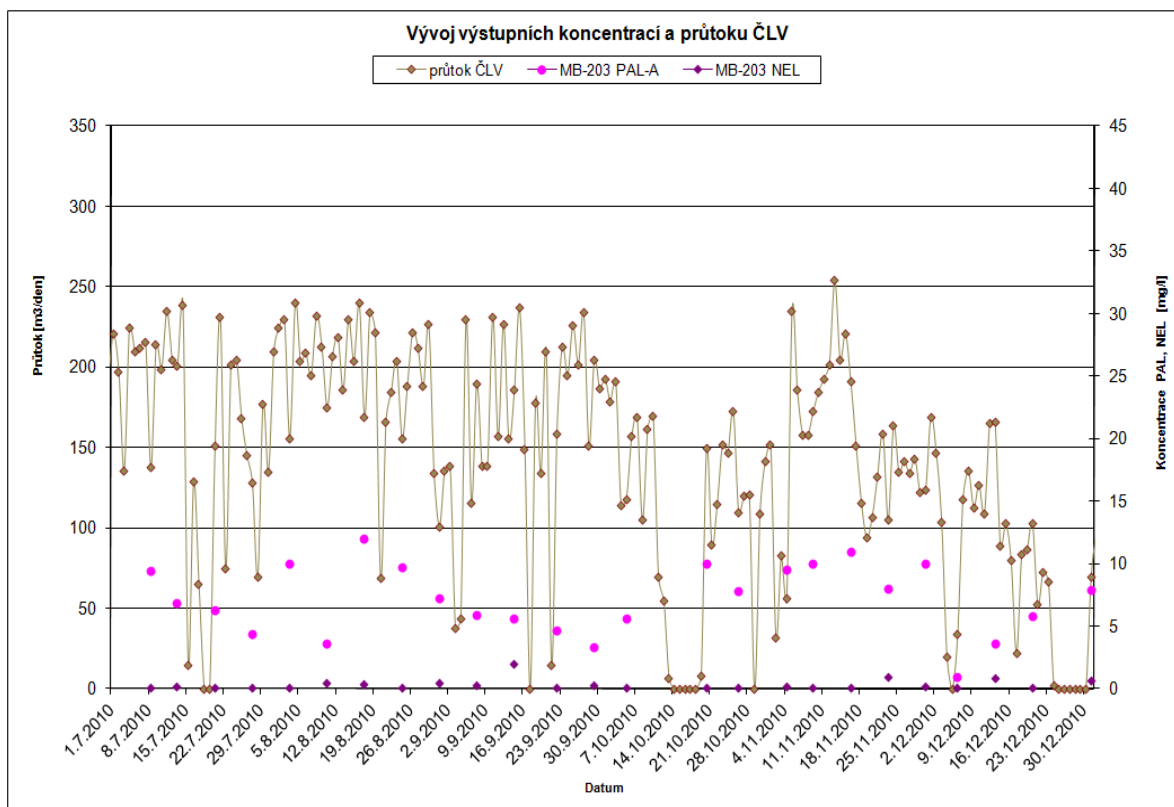
Tabulka č. 8: Účinnost ČLV z hmotnostní bilance kontaminantů – komplexní zkoušky vody  
z odtěžby [26]

Z grafu č. 6 je patrný vývoj koncentrací kontaminantů PAL-A a NEL ve směsných vodách čerpaných ze vstupní akumulární nádrže ČLV do přečišťovacího procesu a průtok linkou ČLV. Koncentrace PAL-A se vyskytují ve velmi vysokých hodnotách v rozsahu **11 až 170 mg/l**. Rozkolísanost hodnot je dána zejména vlivem srážek, přecherpáváním vod do retenční nádrže z různých prostor lagun. Hodnoty koncentrací NEL se pohybují na nízké úrovni v rozmezí 0,2 až 2,1 mg/l [26].



Graf č. 6: Průtok a koncentrace kontaminantů na vstupu do linky ČLV [26]





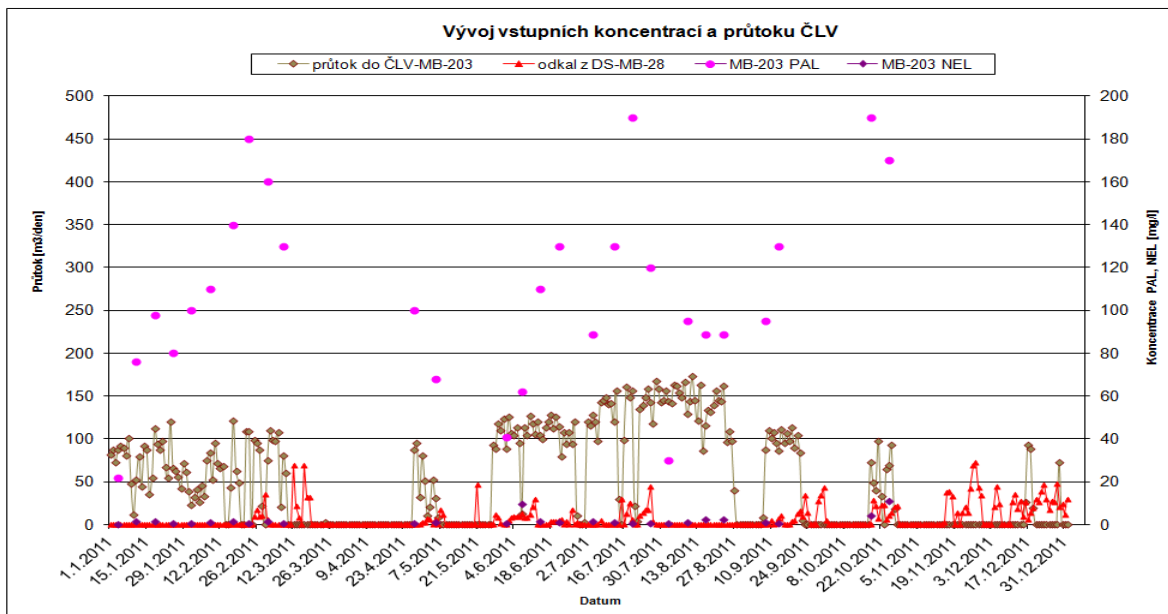
Graf č. 7: Průtok a koncentrace kontaminantů na výstupu z ČLV [26]

Stejně jako v průběhu komplexních zkoušek s lagunovými vodami, se i přes velmi vysokou účinnost odstranění PAL-A nedařilo dosáhnout na výstupu z ČLV limitní koncentrace 3,2 mg/l PAL-A. Vzhledem k tomuto faktu byly trvale veškeré vody z výstupu ČLV odváděny do technologie DS k dočištění [26].

Účinnost odstranění Fe, Al a  $\text{SO}_4$  není hodnocena s ohledem na nerovnoměrnost poměru přiváděných vod, odběru vzorků a samovolně probíhající chemické reakce, při kterých docházelo k částečnému vysrážení kovů a síranů při vzájemném smíchání čerpaných lagunových vod (vysoké pH až 14) a vod z S-4 a S-5 (nízké pH 3,5 až 4,5) [26].

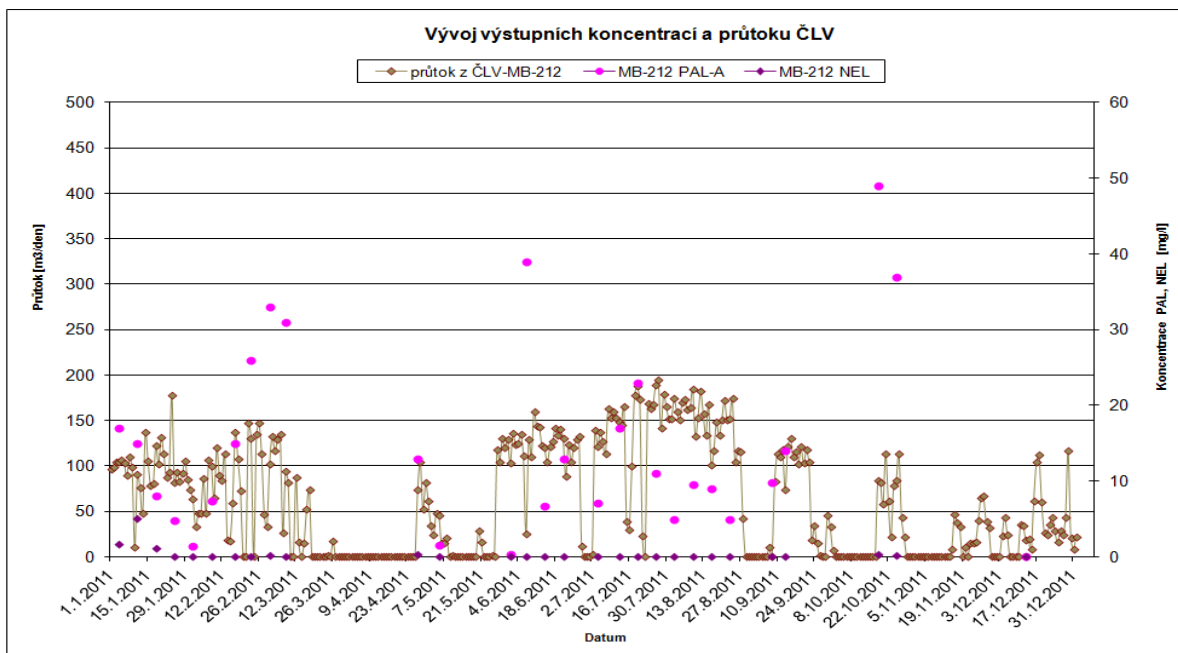
Z grafu č. 8 je patrný vývoj koncentrací kontaminantů PAL-A a NEL. Průběh koncentrací PAL-A má v průběhu roku 2011 kolísavý charakter a koncentrace se vyskytují ve vysokých hodnotách v rozsahu **22 až 190 mg/l**. Relativně nižší hodnoty PAL-A v lednu 2011 jsou zřejmě způsobeny ředěním přiváděnými vodami z čerpacích jímek S-4 a S-5 a nižšími koncentracemi v lagunách v důsledku tání sněhu. Naopak nižší srážkové úhrny v únoru 2011 zřejmě měli za následek zvyšování koncentrací PAL-A v lagunách postupným vyluhováním. V roce 2011 hodnoty koncentrací NEL se pohybovali na relativně nízké úrovni v rozmezí 0,18 až 11 mg/l.

Na základě omezeného množství dat lze také konstatovat, že na konci hodnoceného období při těžbě nezavápněné náplně laguny R3 došlo k razantní změně charakteru lagunových vod na velmi kyselé s vysokým obsahem kovů a síranů [27].

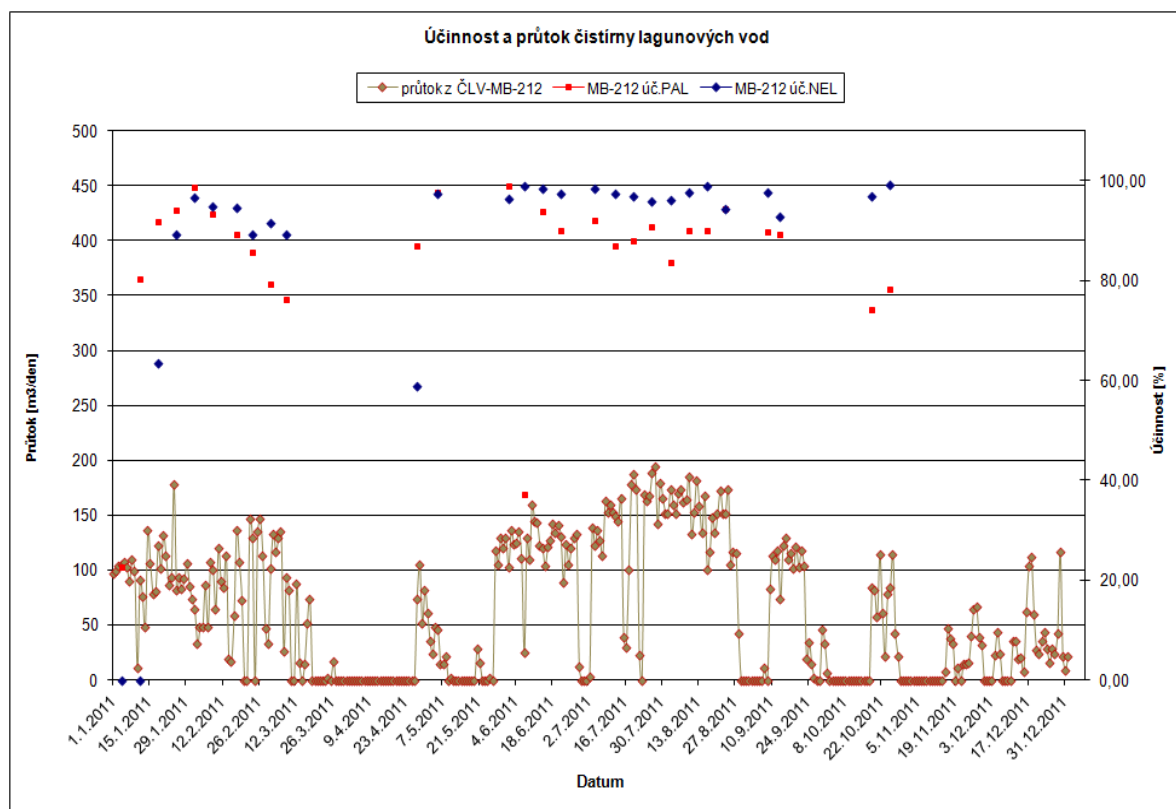


Graf č. 8: Průtok a koncentrace kontaminantů na vstupu do linky ČLV [27]

Z grafu č. 9 je patrný vývoj koncentrací kontaminantů na výstupu z ČLV, který odpovídá průběhu reálně dosahovaných účinností odstranění [27].



Graf č. 9: Průtok a koncentrace kontaminantů na výstupu z ČLV [27]



Graf č. 10: Průtok a účinnost ČLV [27]

Z grafu č. 10 je patrný průběh dosahované účinnosti dekontaminace lagunových vod stanovené z bodových vzorků. Účinnost odstranění kontaminantu PAL-A byla dosažena v rozmezí 22,7 až 99,0% (průměrně 84,3%), účinnost odstranění NEL byla v rozmezí 0,0 – 99,0% (průměrně 86,3%). Účinnost odstranění  $\text{SO}_4$ , Fe a Al nebyla vzhledem k výše uvedenému hodnocena [27].

Účinnosti hmotnostních bilancí jsou uvedeny v tabulce č.9.

Celková účinnost DS z hmotnostní bilance						
		1Q 2011	2Q 2011	3Q 2011	4Q 2011	Průměr 2011
PAL-A	%	79,22	85,11	87,93	88,41	<b>85,17</b>
NEL	%	52,51	97,83	96,05	96,79	<b>85,80</b>

Tabulka č. 9: Účinnost ČLV z hmotnostní bilance kontaminantů [27]

Při zhodnocení dosažených výsledků lze konstatovat, že i přes velmi vysoký rozptyl parametrů vstupních vod, bylo po celé období dosahováno velmi dobrých a stabilních hodnot účinností odstraňování sledovaných kontaminantů.

### 3.3.5 Přečištění vod na dekontaminační stanici z prostoru vně PTS

Přečištění vod z prostoru vně PTS je realizováno na dekontaminační stanici podzemních vod. Dekontaminační stanice podzemních vod (dále též DS) je umístěna v komplexu sanačních technologií. Dekontaminační stanice podzemních vod slouží pro odstranění podzemních kontaminovaných vod z prostoru vně PTS na požadované limitní koncentrace kontaminantů s následným odváděním přečištěných vod do vod podzemních pomocí zasakovacích systémů [27].

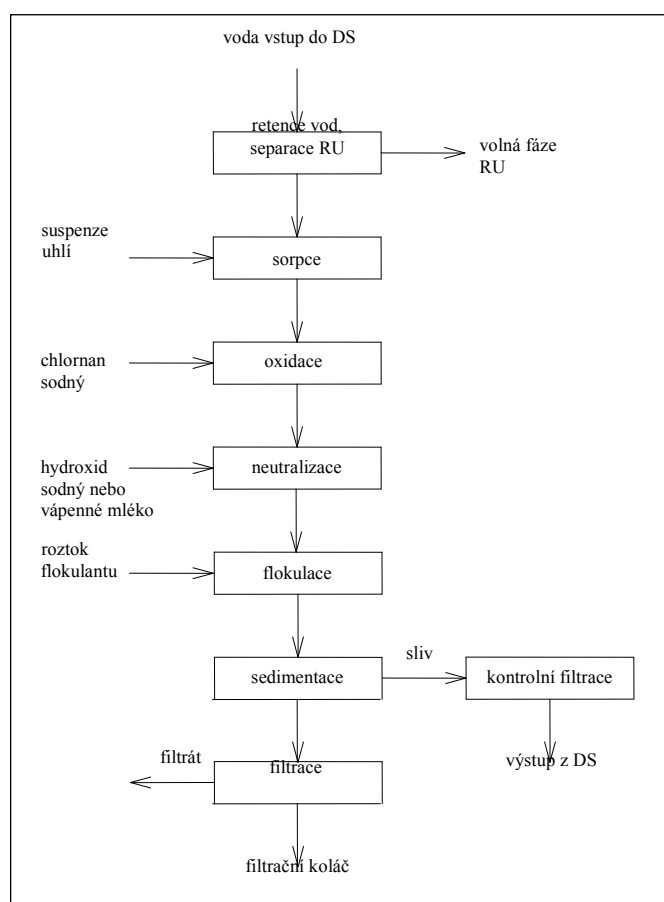


Schéma č. 1: Blokové schéma technologie dekontaminační stanice [25]

Maximální kapacita zařízení je 25l/s – tj. 90m<sup>3</sup>/hod

Průměrná provozní kapacita je 17 l/s – tj. 61,2m<sup>3</sup>/hod

V současné době dekontaminační stanice podzemních vod slouží pro přečišťování méně kontaminovaných vod s obsahem organických látek, solí a kovů pocházejících:

- Z horizontálního ochranného drénu HNO1 a HNO2 (havarijní nápravná opatření)
- Ze sanace saturované zóny navážek a štěrkové terasy laguny R1, R2, R3

Předpokládané průměrné chemické složení podzemních vod vstupujících do DS dle původně uváděných zadávacích hodnot (viz. tabulka č. 10) [25].

Složka	Jednotka	Hodnota
$\text{NH}_3^+ \text{NH}_4^+$	mg/l	1,2
pH	-	6,5
$\text{SO}_4^{2-}$	mg/l	1043
Konduktivita	mg/l	3170
Cr-celk	mg/l	0,0025
Cd	mg/l	0,002
Be	mg/l	0,0005
Al	mg/l	3,2
PAL	mg/l	1,5
Fe-celk	mg/l	35
NEL	mg/l	0,35
Volná fáze RU	mg/l	0,0

Tabulka č. 10 Předpokládané chemické hodnoty podzemních vod [21]

Chemické složení podzemní vody čerpané z prostoru drénu HNO1 vykazuje v současné době vyšší hodnoty. Podzemní vody z prostoru HNO2 vykazují znečištění těkavými látkami – BTEX a CIU v řádu tisíců ug/l [21].

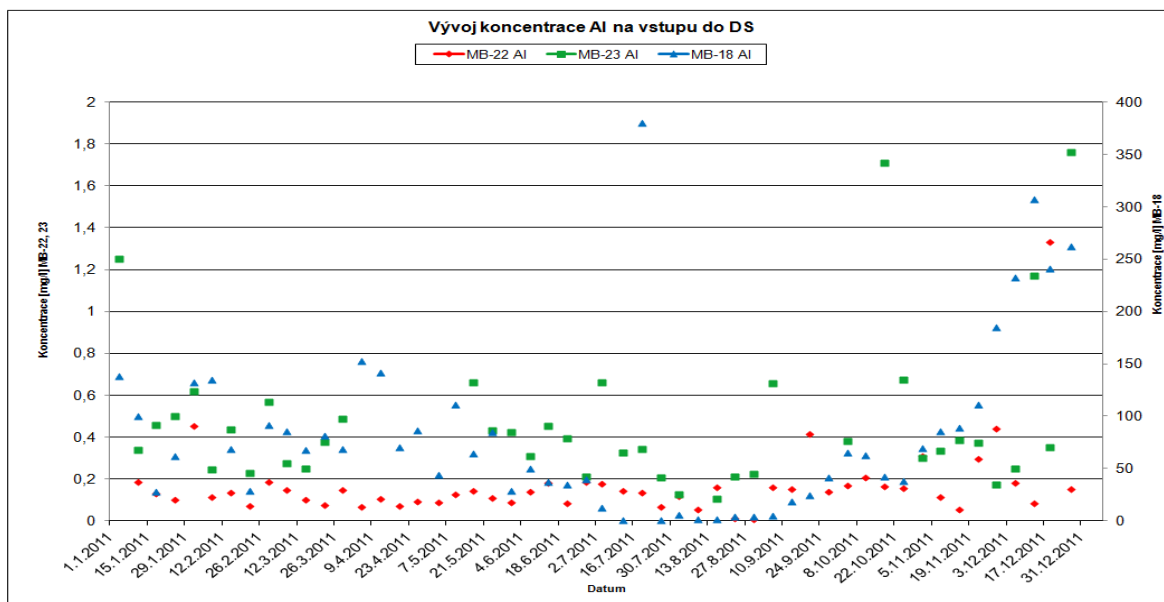
Technologie dekontaminační stanice je složena ze dvou dekontaminačních linek A a B. Některá zařízení jsou společná pro obě linky. Veškeré vody přiváděné do dekontaminační stanice z prostoru sanace (HNO1) jsou vedeny do společné vstupní akumulární nádrže a následně dle provozních potřeb jsou vedeny na dekontaminační linky A, B. Kontaminované vody z ochranného drénu HNO2 je možno vést jak do společné vstupní akumulární nádrže DS, tak přímo na linku B [21].

Princip technologie dekontaminační stanice je založena na odstranění NEL, PAL-A a kovů s následným zachytem organických kontaminantů na filtrech. Dekontaminace podzemních vod je kombinace fyzikálních, chemických a fyzikálně-chemických metod. Fyzikální postup je gravitační separační technologie (separace organické fáze, separace nerozpustěných látek, stripování). Fyzikálně-chemický postup je určen pro sorpci anionaktivních tenzidů a části dalších přítomných organických látek na práškovém uhlí.

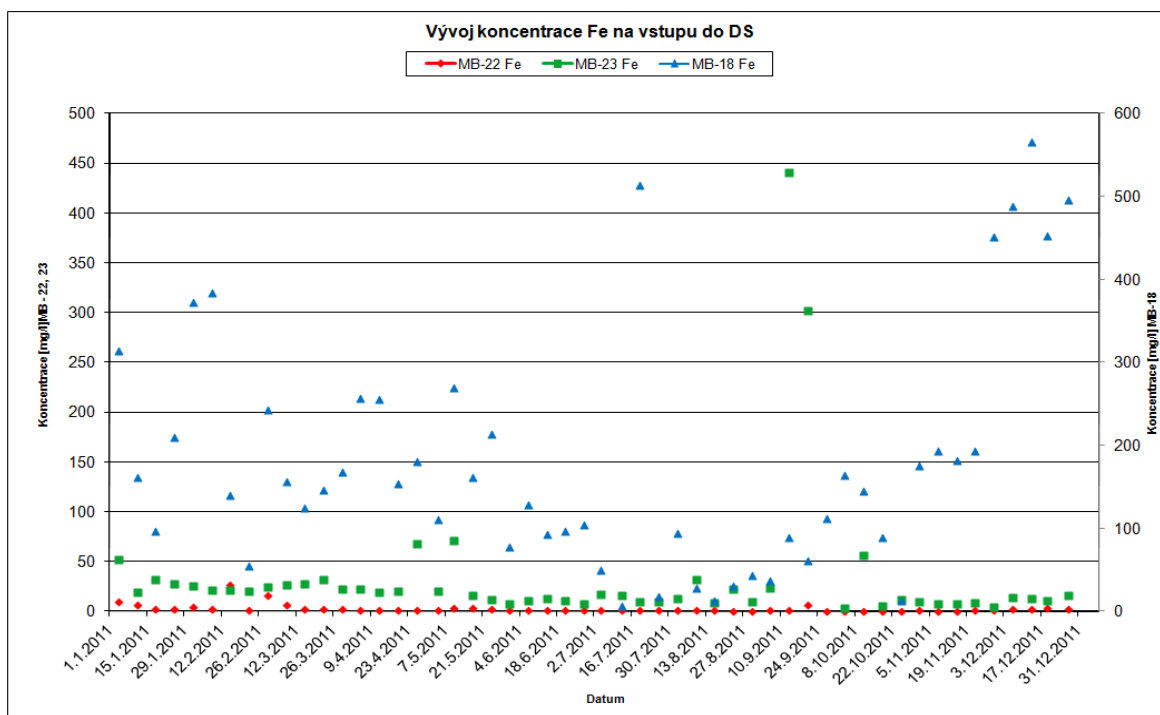
Chemická metoda je založena na oxidaci dvojmocného železa přidavkem chlornanu sodného a úpravu pH suspenzí vápenného mléka, popř hydroxidu sodného. Dekontaminační stanice je navržena jako kompletně automatizované zařízení tak, aby obsluha musela co nejméně zasahovat do chodu technologického proces. Hlavní náplní práce obsluhy je vykonávat dozorovou činnost a doplňovat chemikálie [25].

V hodnoceném období bylo na DS přečištěno (dle údaje z vodoměru MB-15 a MB 15/2) 276 065 m<sup>3</sup> kontaminovaných vod, toto množství také zahrnuje 34 773 m<sup>3</sup> předčištěných vod z ČLV a 840 m<sup>3</sup> vod ze systému HNO<sub>2</sub> čerpaných při provádění zkoušky stripování [27].

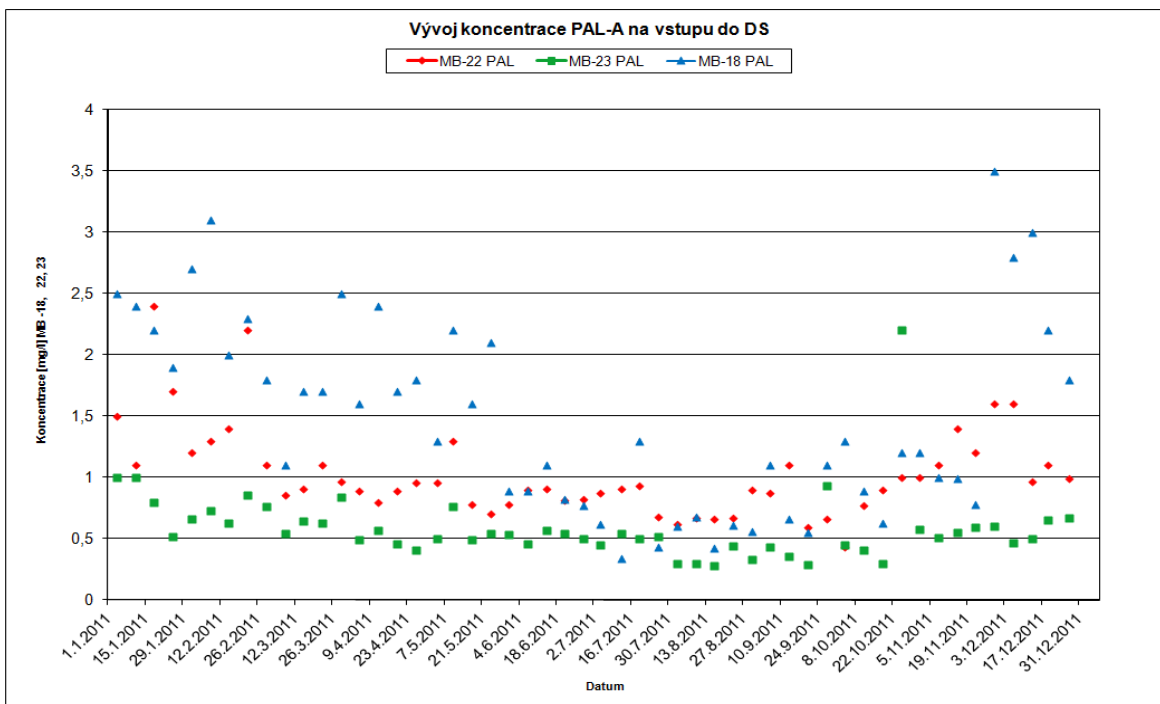
Z následujících grafů č. 11 až 14 je patrný vývoj koncentrací sledovaných kontaminantů čerpaných ze sanovaných prostorů lagun Ostramo do dekontaminační stanice. Koncentrace sledovaných kontaminantů až na PAL-A a NEL v průběhu celého období spíše vyrovnaný průběh. U všech sledovaných kontaminantů je mírně kolísavý průběh. Od konce září 2011 došlo kromě koncentrací NEL k trvalému nárůstu koncentrací Fe a Al na 5-ti až 6-ti násobek obvyklých hodnot (Fe až 566 mg/l a Al až 307 mg/l). U koncentrací PAL-A, došlo k dočasnému nárůstu až na trojnásobek obvyklých hodnot (3,5 mg/l). Tento nárůst koncentrací souvisí zřejmě s nízkými dešťovými srážkami a s výskytem koncentrovaných lagunových vod [27].



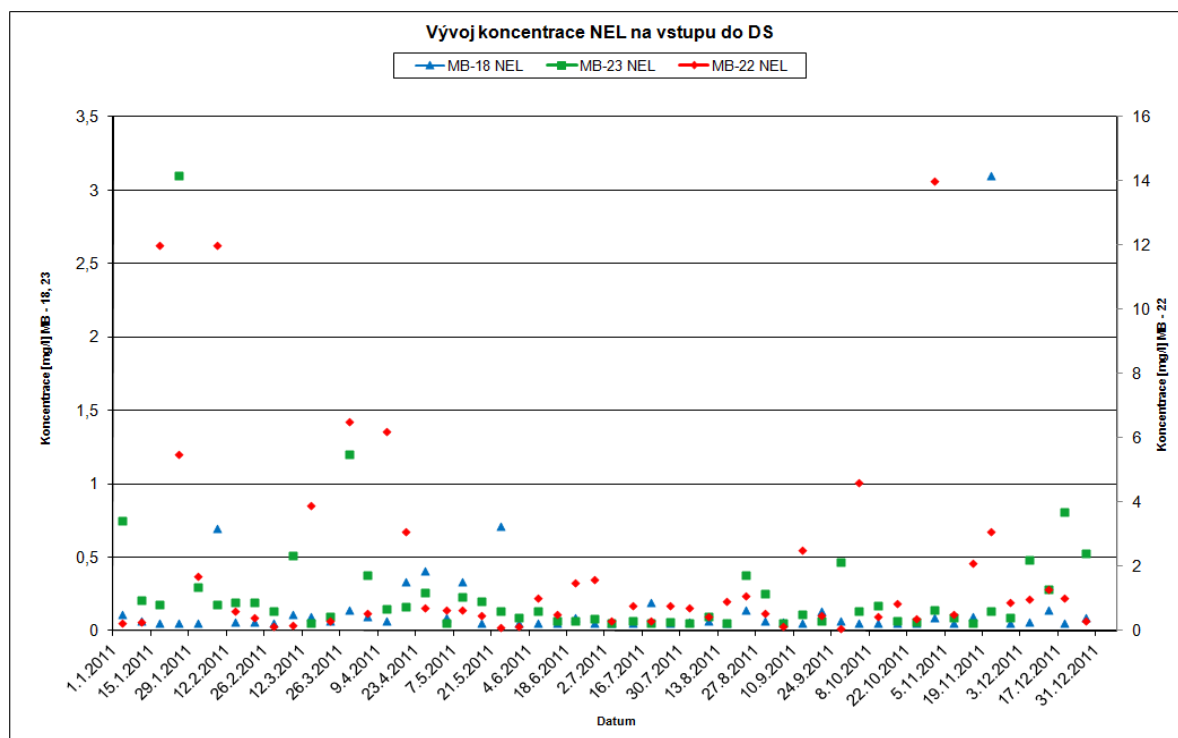
Graf č. 11: Vývoj koncentrace Al [27]



Graf č. 12: Vývoj koncentrace Fe [27]



Graf č. 13: Vývoj koncentrace PAL-A [27]



Graf č. 14: Vývoj koncentrace NEL [27]



## 4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V této části diplomové práce se budu zabývat legislativou v závislosti na vstupních a výstupních hodnotách kontaminantů ve vodách. Přípustné hodnoty znečištění povrchových vod a odpadních vod pro vypouštění do kanalizací a povrchových vod určuje zákon č.254/2001 o vodách (vodní zákon). Budu porovnávat hodnoty, které mi poskytly společnosti Aquatest a.s., Deza a.s, Synthesia a.s, Pilana Hulín a.s. V rámci ostravských lagun jsem zpracoval výstupní hodnoty ČLV, DS s limitními hodnotami OVaK. Součástí mé experimentální části je vyhodnocení účinnosti jednotlivých technologií v podobně zatížených lokalitách.

### 4.1 Legislativní část

Legislativa určuje podmínky jako cílový stav jakosti vody po přečištění. Přečištěná voda by neměla obsahovat organismy s patogenními a toxickými vlastnostmi, koncentrace nebezpečných a zvláště nebezpečných závadných látek v naplaveninách a živých organismech. Přečištěná voda musí být v takovém stavu, při němž nedochází k porušování hygienických požadavků na ochranu zdraví. Dále musí splňovat náležitosti a podmínky povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a podpovrchových a kanalizace. Tyto požadavky řeší Nařízení vlády č.23/2011 Sb., kterým se mění nařízení vlády č.61/2003 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, ve znění nařízení vlády č. 229/2007 Sb. Jedná se o průmyslové odpadní vody, městské odpadní vody, zdroje znečištění, emisní standardy a limity.

Vodoprávní úřad stanoví limitní hodnoty k vypouštění odpadních vod do vod povrchových. Je vázán ukazatelem stavu vody ve vodním toku. V případě, že emisní limity nemohou být sníženy dostupnou technologií, stanoví vodoprávní úřad nejprísnější emisní limity, kterých lze použitím nejlepší dostupné technologie v oblasti zneškodňování odpadních vod nebo v místních přírodních podmínkách dosáhnout.

## 4.2 Porovnání hodnot kontaminace vypouštěných vod z ČLV v lagunách Ostramo

K lepší orientaci k technologickému procesu čištění vod uvnitř těsnící stěny jsem vytvořil schéma.

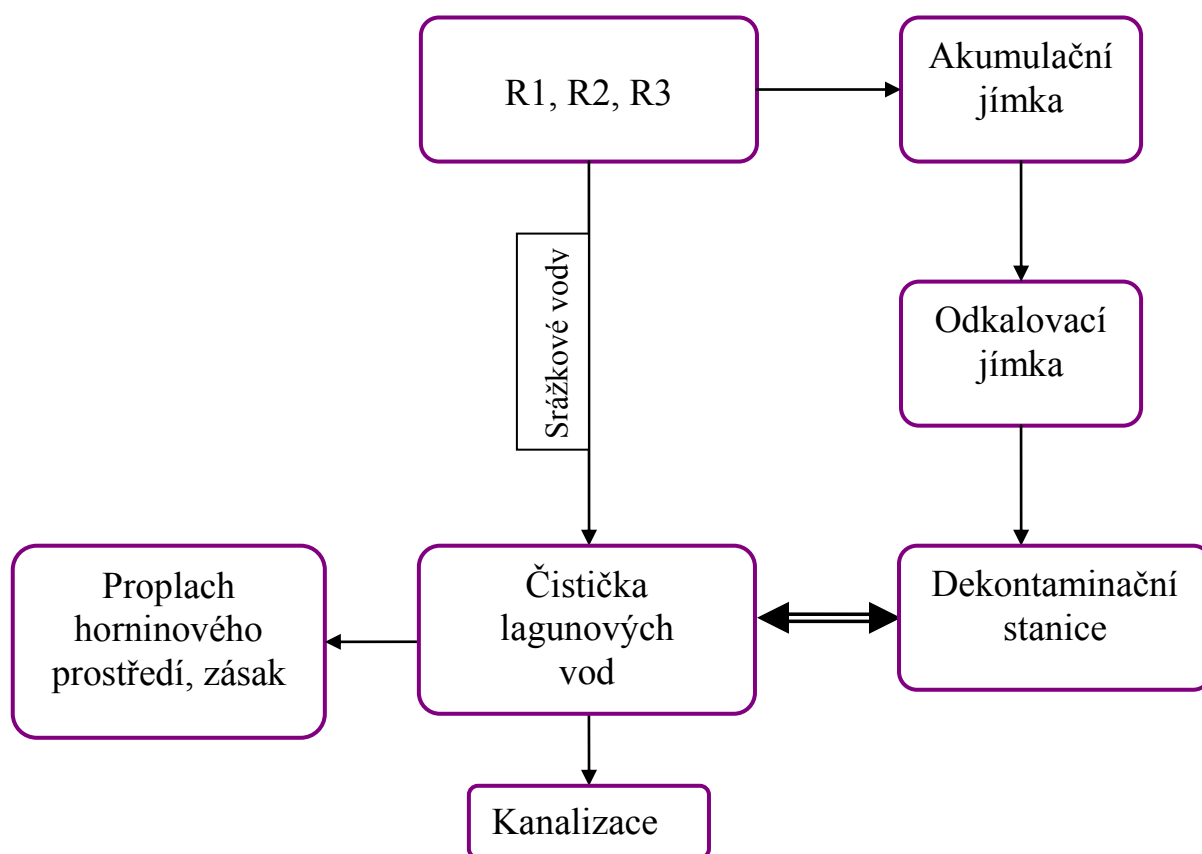


Schéma č. 2 Sanace uvnitř těsnící stěny – lanových vod [autor 12. 2. 2013]

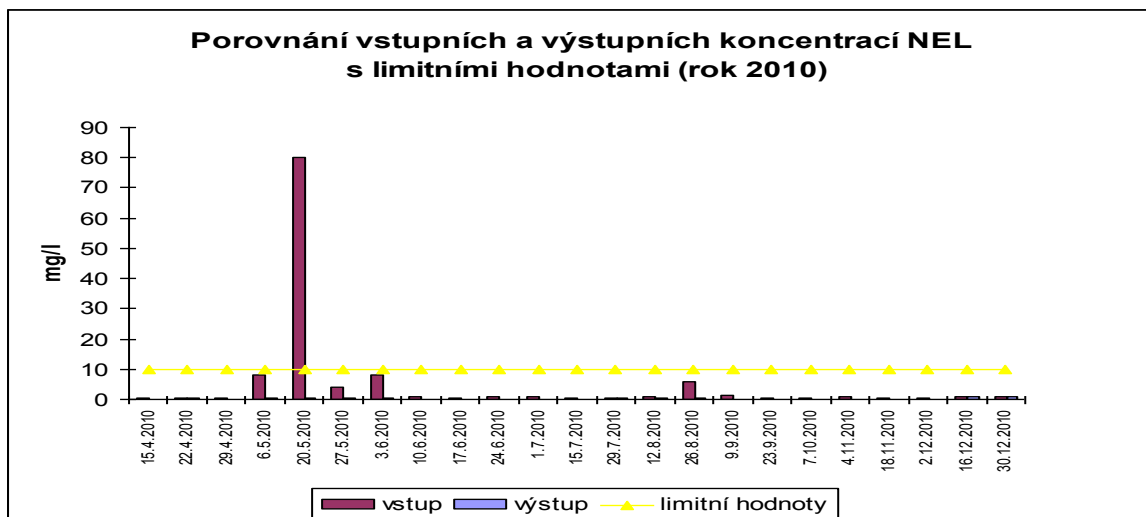
Pro porovnání hodnot přečištěných vod z lagun jsem vycházel z limitních hodnot společnosti OVaK tabulka č. 11. [28].

Pořadové číslo	Ukazatel	Jednotka	Přípustná míra znečištění s vyústěním na ČOV
1	Nepolární extrahovatelné látky (NEL)	mg/l	10
2	Tenzidy anionaktivní (PAL A)	mg/l	10
3	pH	mg/l	6 – 9
4	Toxické kyanidy	mg/l	0,1
5	Rtuť	mg/l	0,005
6	Nikl	mg/l	0,1
7	Olovo	mg/l	0,1
8	Arsen	mg/l	0,1
9	Kadmium	mg/l	0,005
10	Cín	mg/l	0,1

Tabulka č. 11 všeobecné požadavky na složení odpadních vod vypouštěných do veřejné kanalizace [28]

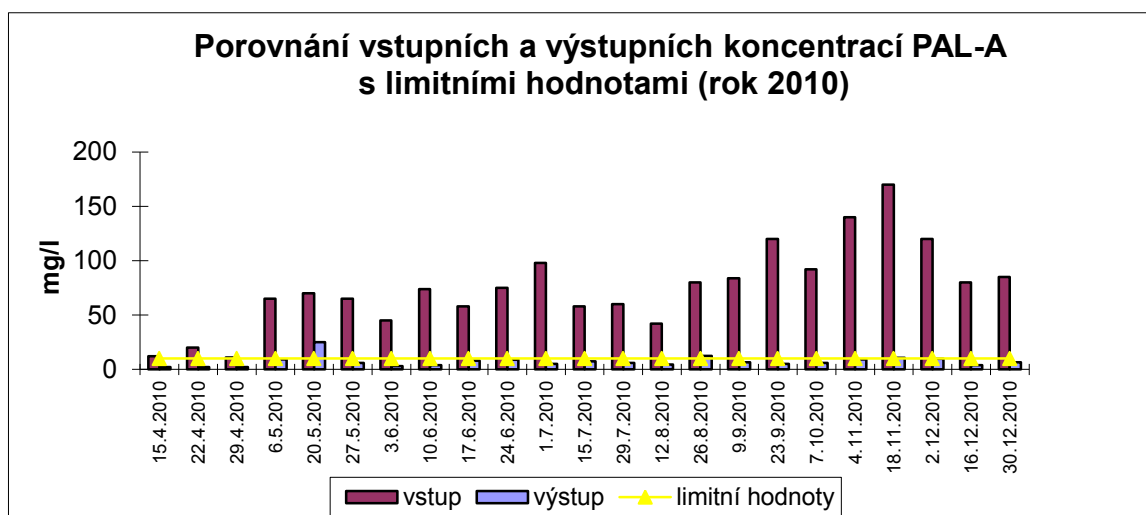
Z hodnot roku 2010, 2011 získaných společností Aquatest a.s. jsem zpracoval a porovnal koncentrace NEL a PAL-A na vstupu do ČLV s hodnotami znečištěných vod na výstupu z ČLV v závislosti s povolenými limitními hodnotami znečištění, umožňujícími vypouštění do kanalizací společnosti OVaK dle platné legislativy.

Je patrné (graf č. 15), že koncentrace NEL má velmi nízké hodnoty již na vstupu do ČLV. Pouze při odběru 20. 6. 2010 došlo k nárůstu koncentrace, která mohla být způsobena sníženým množstvím měsíčních srážek. Zároveň je důležité přihlédnout, že v tomto období byla prováděna provozní zkouška. V průběhu roku se koncentrace NEL držela na vstupu do ČLV pod stanovenou povolenou hodnotou k vypouštění takto znečištěných vod do kanalizace OVaK.



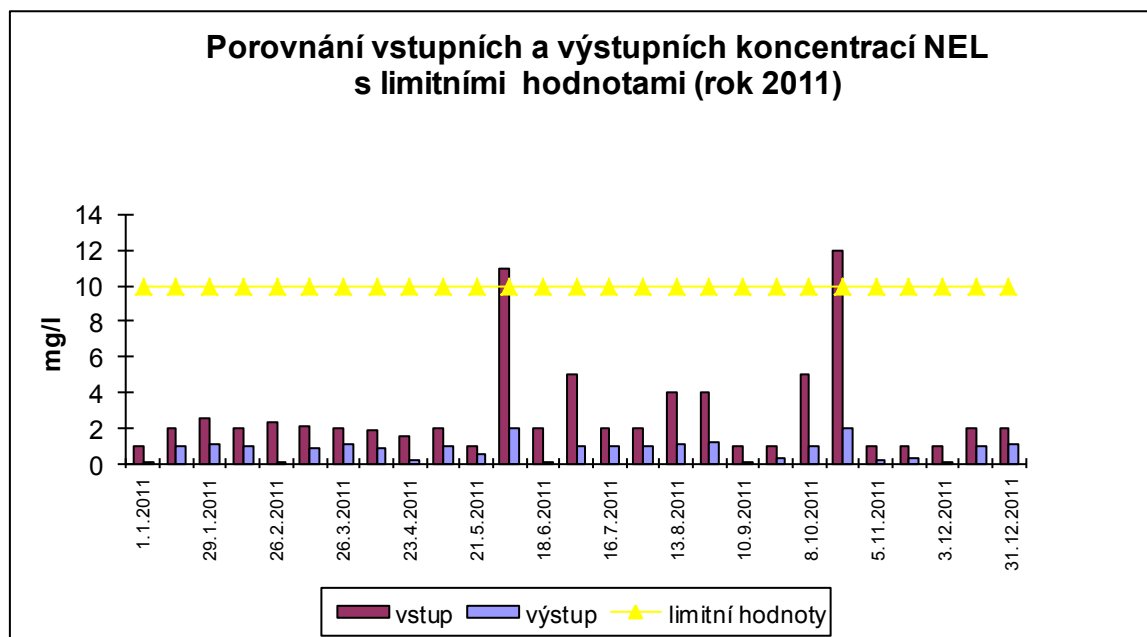
Graf č. 15 porovnání vstupních a výstupních koncentrací NEL s limitními hodnotami [autor 8. 3. 2013]

Po ukončení technologických zkoušek s kyselými koncentrovanými vodami, byly zahájeny technologické zkoušky lagunových vod s vysokými koncentracemi PAL-A (graf č. 16). Tyto zkoušky měly za cíl ověřit funkčnost technologie ČLV. Hodnoty PAL-A se vyskytují ve velmi vysokých hodnotách blízcích se 100 mg/l. Proto byly přečištěné vody vráceny zpět do dekontaminační stanice k dalšímu přečištění a následnému vpuštění do kanalizace nebo využití pro zasakování. Přes snahu využít všech možností k dosažení vysokých hodnot účinnosti se nepodařilo plnit limitní koncentrace 3,2 mg/l PAL-A na výstupu z ČLV.



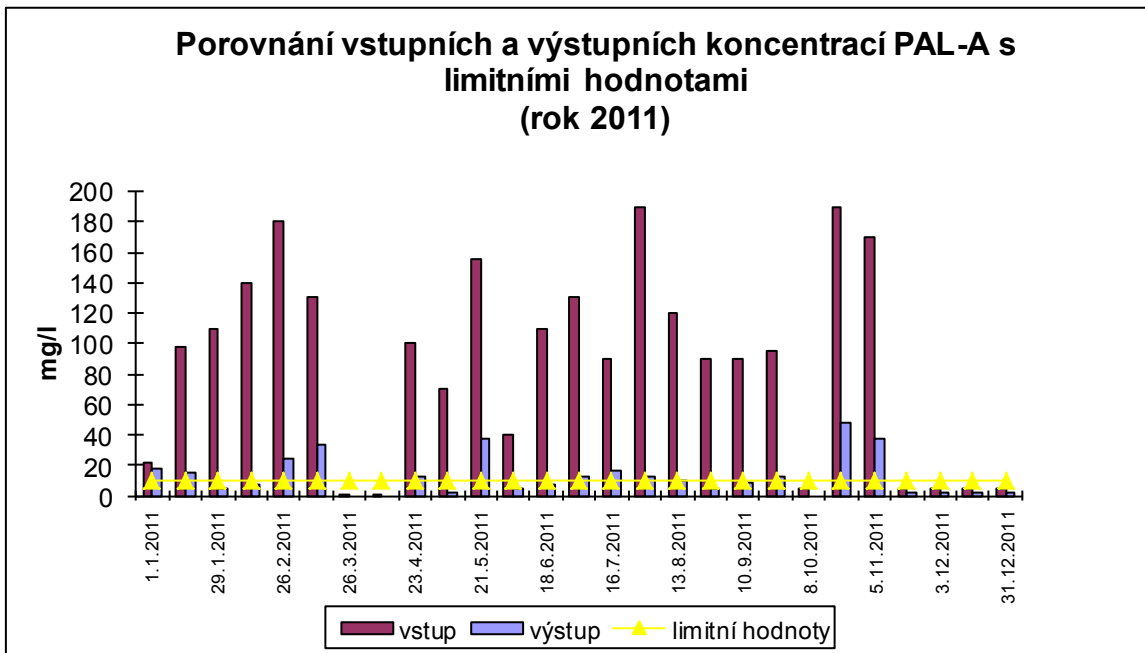
Graf č. 16 Porovnání vstupních a výstupních koncentrací PAL-A s limitními hodnotami [autor 1. 3. 2013]

Z grafu č. 17 je vidět vývoj koncentrací kontaminantů. Hodnoty koncentrací NEL se pohybovaly na relativně nízké úrovni v rozmezí 0,18 až 11 mg/l. Na základě množství dat lze také konstatovat, že výstupní koncentrace NEL přečištěných vod mohly být z ČLV vypuštěny dle limitních hodnot do kanalizace nebo použity k zasakování.



Graf č. 17 Porovnání vstupních a výstupních koncentrací NEL  
s limitními hodnotami 2011 [autor 1. 3. 2013]

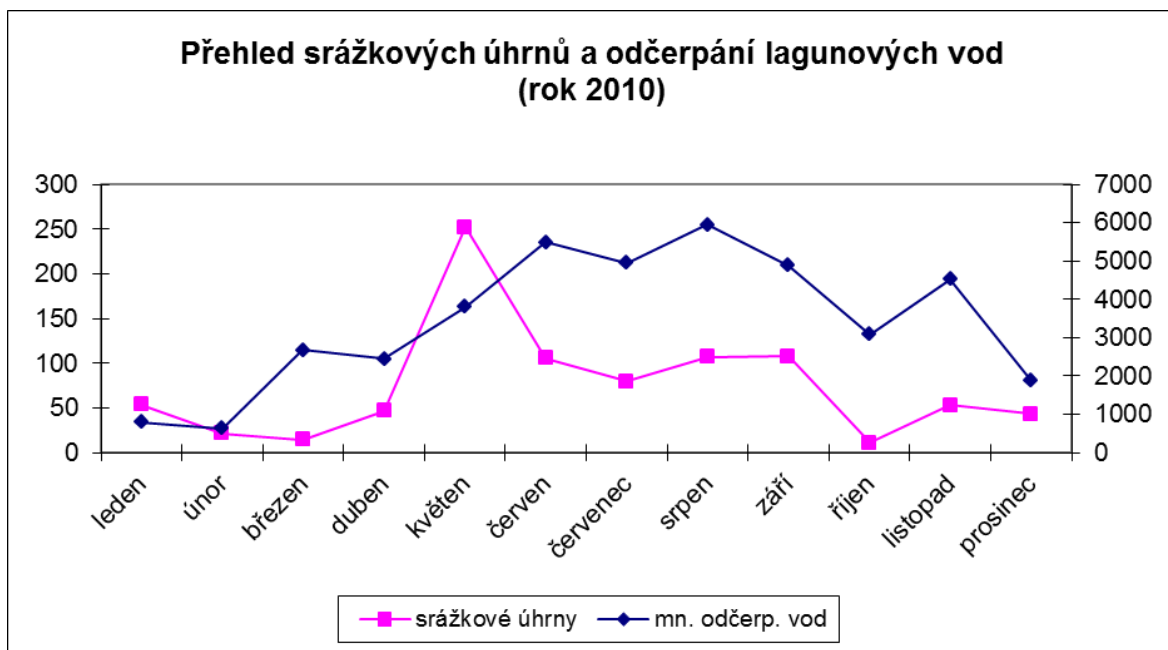
Z grafu č. 18 je vidět vývoj koncentrací kontaminantů na výstupu z ČLV, který odpovídá průběhu reálně dosahovaných účinností odstranění. Na čistírně lagunových vod byly přečišťovány lagunové vody, s extrémně vysokými koncentracemi PAL-A. Tyto vody byly charakteristické velmi nízkým pH. Vzhledem k vysokým koncentracím byl odvod vody přepojen zpět do dekontaminační stanice.



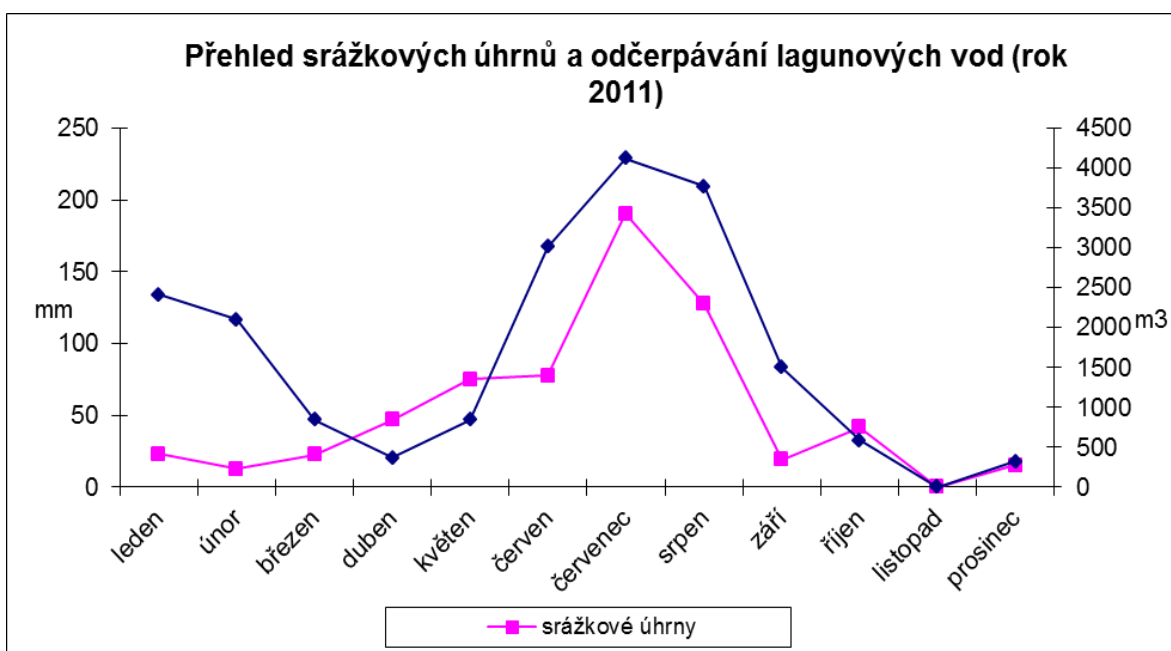
Graf č. 18 Porovnání vstupních a výstupních koncentrací PAL-A  
s limitními hodnotami 2011 [autor 8. 4. 2013]

Množství a výše koncentrace znečišťujících látek v lagunových vodách ovlivňuje množství dešťových srážek. Ze získaných dat jsem zpracoval a porovnal množství srážek za roky 2010 a 2011 s množstvím odčerpaných vod z lagun.

Z grafů č. 19 a č. 20 je patrný vývoj srážek a čerpacích změn. Začátkem roku 2011 jsou patrné nízké srážky, přesto oproti roku 2010 můžeme pozorovat zvýšené množství odčerpaných vod. V březnu až v květnu 2011 je vidět obrácený vývoj. Tento jev můžeme připsat intenzivní sanaci lagun. Zvýšené množství čerpaných vod je patrné v měsících červen až srpen 2011, kdy byly vysoké srážkové úhrny. Srážkové úhrny v roce 2011 byly vyšší než v roce 2010, ale bylo odčerpáno méně lagunových vod než v roce 2010. Úbytek lagunových vod může být spojován s prosakem vody do podloží.



Graf č. 19 Přehled srážkových úhrnů a odčerpávání lagunových vod za rok 2010 [autor 20. 2. 2013]

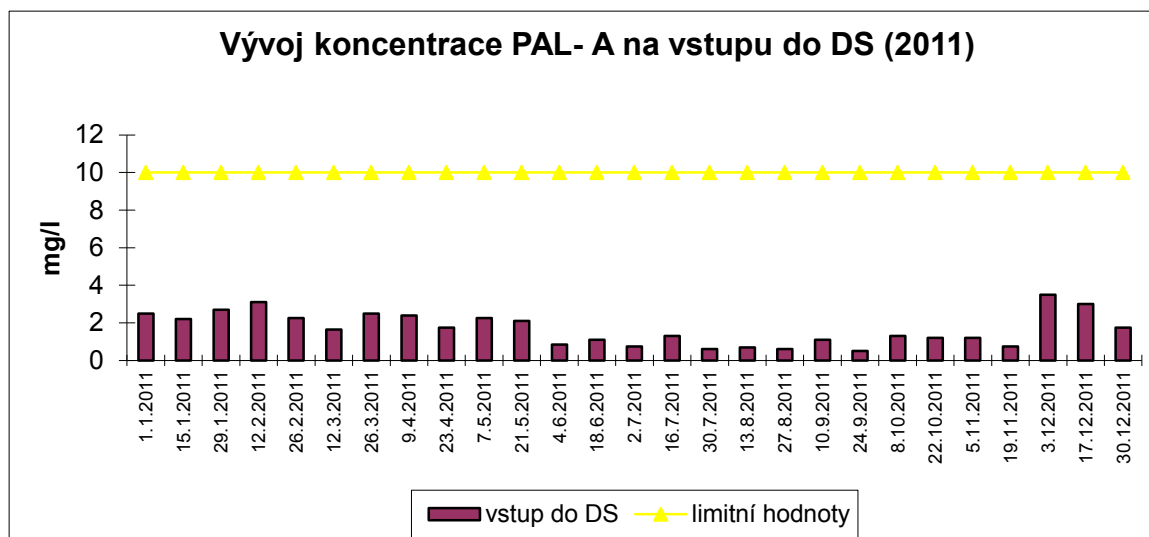


Graf č. 20 Přehled srážkových úhrnů a odčerpávání lagunových vod za rok 2011 [autor 19. 2. 2013]

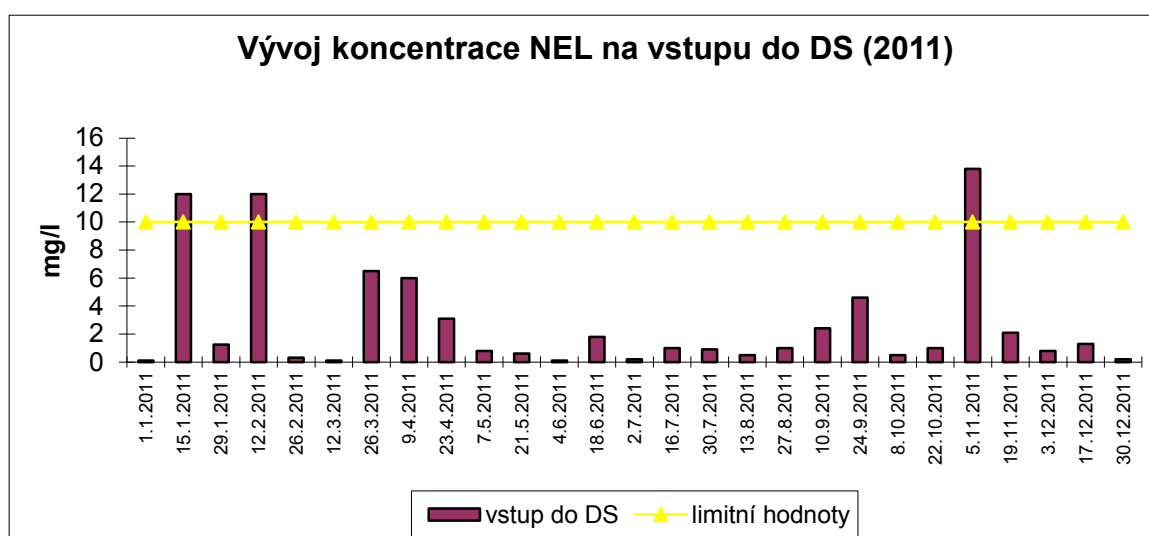
#### 4.2.1 Porovnání hodnot kontaminace při vstupu do dekontaminační stanice

Přečištěné vody z ČLV, jejichž množství znečišťujících látek neumožňuje vypouštění do kanalizace, musí jít zpět k přečištění do dekontaminační stanice (DS). Ze získaných dat porovnávám množství koncentrací NEL, PAL-A na vstupu do dekontaminační stanice.

Z následujících grafů č. 21 a 22 je patrný vývoj koncentrací sledovaných kontaminantů čerpaných ze sanovaných prostorů lagun Ostramo do dekontaminační stanice.



Graf č. 21 vývoj koncentrace Pal-A na vstupu do DS 2011[autor 5. 4. 2013]



Graf č. 22 vývoj koncentrace NEL na vstupu do DS 2011 [autor 6. 4. 2013]

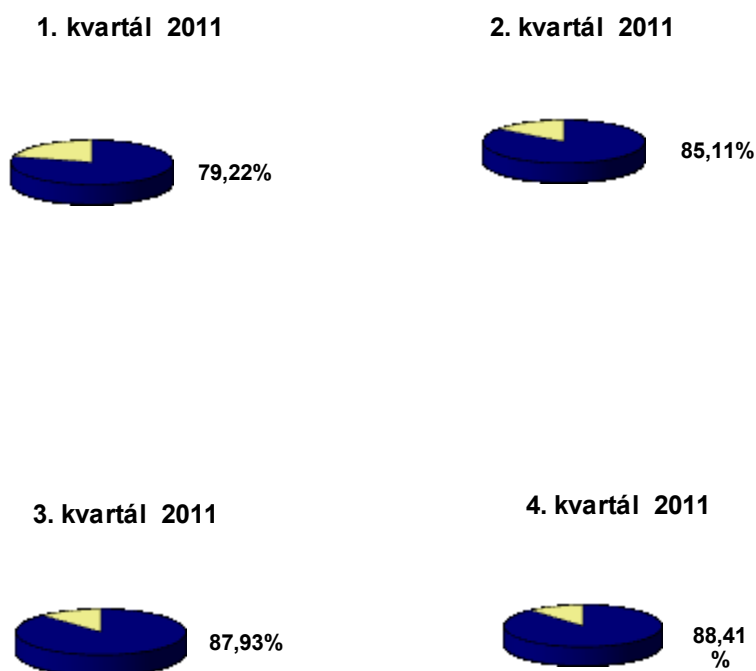


Koncentrace sledovaných kontaminantů PAL-A a NEL mají v průběhu celého období spíše vyrovnaný průběh. U koncentrací NEL došlo k dočasnému nárůstu. Tento nárůst koncentrací souvisí zřejmě s nízkými dešťovými srážkami a s výskytem koncentrovaných lagunových vod. Vzhledem k vyšším hodnotám NEL v lednu a listopadu byly vody přečištěny znovu na dekontaminační stanici.

#### 4.2.2 Srovnání účinnosti dekontaminační stanice

Ze získaných dat v roce 2011 porovnávám účinnosti metody čištění kontaminantů PAL-A, NEL. Účinnost dekontaminační stanice ukazuje přečištění vod v jednotlivých kvartálech v roce 2011.

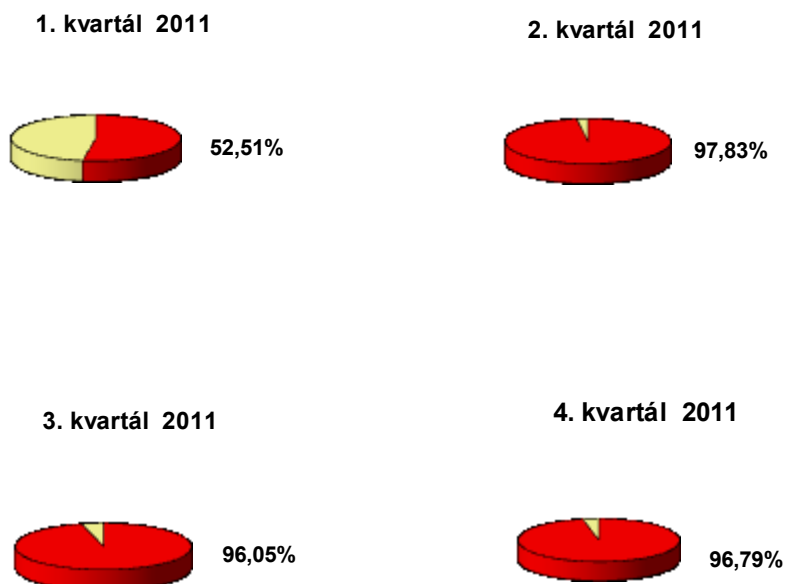
Vzhledem k vyrovnaným nízkým hodnotám koncentrace PAL-A na vstupu byla účinnost metody dekontaminační stanice vysoká v daném roce (viz. graf 23).



Graf č. 23 Účinnost dekontaminační stanice přečištění PAL-A v jednotlivých kvartálech [autor 10. 4. 2013]

Při zhodnocení dosažených výsledků je vidět, že i přes vysoký rozptyl parametrů vstupních vod bylo po celé období dosahováno dobrých výsledků a stabilních hodnot účinností při odstraňování kontaminantů. Pouze účinnost dekontaminační stanice u

přečištění NEL (graf č. 24) se snížila v 1. kvartálu na úroveň 52,51%. Můžeme tento jev dát do souvislosti s nízkým úhrnem srážek a vyšší koncentrací kontaminantů. Tyto vody byly vráceny zpět k přečištění.



Graf č. 24 Účinnost dekontaminační stanice přečištění NEL  
v jednotlivých kvartálech [autor 11. 4. 2013]

Jak je vidět (graf č. 25) účinnost dekontaminační stanice odstranění NEL v roce 2011 byla průměrně 85,8%.

Průměrné hodnoty 2011 - NEL



Graf č. 25 Průměrné hodnoty účinnosti dekontaminační stanice přečištění NEL za 2011  
[autor 15. 4. 2013]

Účinnost dekontaminační stanice odstranění PAL-A (graf č. 26) v roce 2011 byla průměrně 85,17%.

**Průměrné hodnoty 2011 - PAL-A**



Graf č. 26 Průměrné hodnoty účinnosti dekontaminační stanice přečištění PAL-A za 2011  
[autor 15. 4. 2013]

#### **4.2.3 Vliv sanačních prací na ovzduší**

Sanačními pracemi se rozumí celková likvidace lagun včetně úpravy zemin a vyčištění vod, z nichž se samozřejmě uvolňují škodlivé látky – uhlovodíky, PAU, fenoly. V rámci emisního monitoringu v roce 2011 je provozována stacionární emisní monitorovací zařízení na měření  $\text{SO}_2$  rozmístěných podél lagun ve směrech k obytným zónám. Podle vyhlášky MŽP 97/200 Sb. nebyl v hodnoceném období překročen limit  $1\,200\,\mu\text{g SO}_2$  v  $\text{m}^3$  vzduchu v hodinovém průměru na žádném z analyzátorů [27].

Emise podle výroční zprávy vykazují podlimitní hodnoty znečištění  $\text{SO}_2$ , takže bychom měli předpokládat minimální vliv na prostředí. Podle provozovatele měřicí stanice ZÚOVA, která provozuje monitoring v Ostravě - Fifejdách a Ostravě - Přívoze jsem zjistil, že naopak imise  $\text{SO}_2$  v roce 2011 několikrát vysoce překročily povolené hodnoty  $125\mu/\text{m}^3$  za 24 hodin.

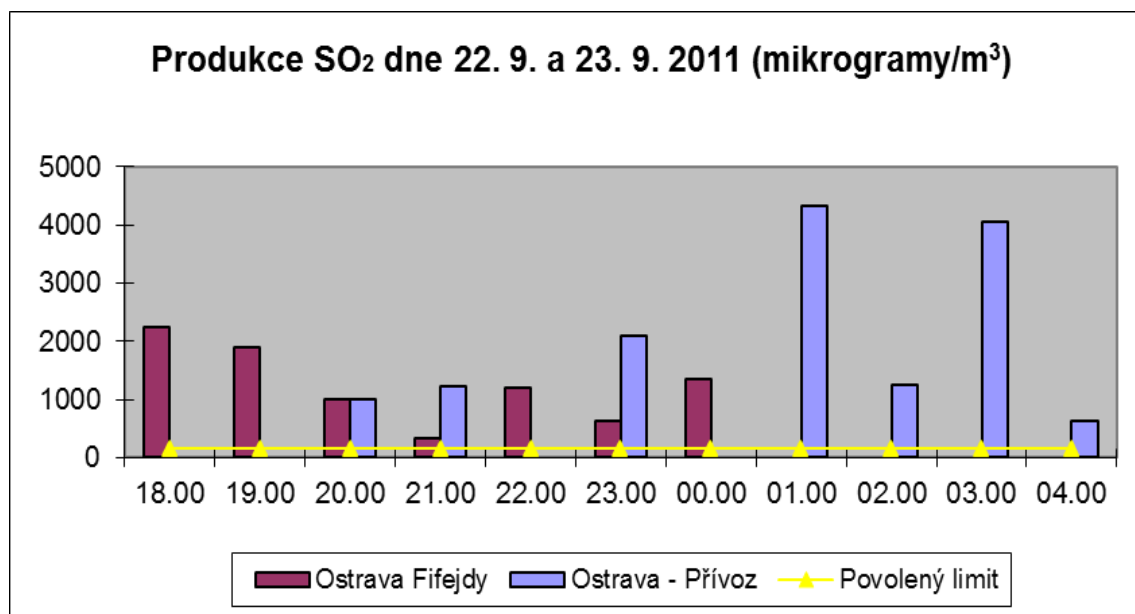
Imisní hodnoty (tabulka č. 12) jsou stanoveny na základě zákona o ochraně ovzduší 201/2012 Sb. a vyhlášky o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích 330/2012 Sb.

V grafu č. 27 jsem zpracoval nadlimitní hodnoty ve dnech, kdy koncentrace byla nejvyšší, a to od 22. 9. - 23. 9. 2011. Vlivem sanací dochází současně i k uvolnění zápachu a prachu. K omezení prací na sanaci dojde ale pouze v případě, že tato skutečnost je firmě telefonicky ohlášena.

Znečišťující látka	Doba průměrování	Mez pro posuzování [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]		Imisní limit [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ] LV
		Dolní LAT	Horní UAT	
SO <sub>2</sub>	1 hodina	—	—	350 max. 24x za rok
	24 hodin	50 max. 3x za rok	75 max. 3x za rok	125 max. 3x za rok
NO <sub>2</sub>	1 hodina	100 max. 18x za rok	140 max. 18x za rok	200 max. 18x za rok
	kalendářní rok	26	32	40
PM <sub>10</sub>	24 hodin	25 max. 35x za rok	35 max. 35x za rok	50 max. 35x za rok
	kalendářní rok	20	28	40
CO	maximální denní 8hod. klouzavý průměr	5 000	7 000	10 000

Tabulka č. 12 Imisní limity pro ochranu zdraví a maximální počet jejich překročení

[autor 7. 4. 2013]



Graf č. 27 Produkce SO<sub>2</sub> měřená ve dnech 22. 9. – 23. 9. 2011 [autor 15. 4. 2013]

### 4.3 Metody čištění podzemních vod v podobně ekologicky zátěžových oblastech

Pro srovnání technologií, jsem vycházel z metod použitých při čištění podobně ekologicky zátěžových oblastí v závodě Pilana, a.s. Hulín a v průmyslovém areálu Synthesia a.s., Deza a.s. Valašské Meziříčí.

#### 4.3.1 Využití oxihumolitového nosiče při čištění podzemních vod

Využívá se k čištění podzemních vod extrémně znečištěných kontaminanty skupiny NEL a PAL. Princip biofiltrace je založena na bakteriích, které jsou ukotveny na nosiči, a čištěná tekutina prochází tímto filtrem. Nosičem je oxihumolit, v jiných případech to mohou být organické látky (rašelina, mulčovací kůra, piliny) i neorganické látky (aktivní uhlí, štěrk, perlit). Základem čištění je adsorpce kontaminantů a jejich rozklad [29].

Oxihumolit je získáván při povrchové těžbě uhlí. Účinnost biofiltru v Pílaně Hulín se pohybovala v rozmezí 31% - 99% pro NEL (v průměrných hodnotách 70%) u PAL byly tyto hodnoty v rozmezí 42% - 99% v průměrných hodnotách 87% (viz. graf č. 28, 29). Stejná metoda byla použita v průmyslovém areálu Synthesie, kde předmětem sanace byly PAL, NEL, anilín. Účinnost filtrace se pohybovala v rozmezí 10,4% - 61,5% [29].

Nejvyšší byla v případě NEL (61,5%) a nejnižší u dusíkatých derivátů. Nízká účinnost byla způsobena širokým spektrem znečišťujících látek a jejich vysokou koncentrací (viz graf č. 28, 29) [29].

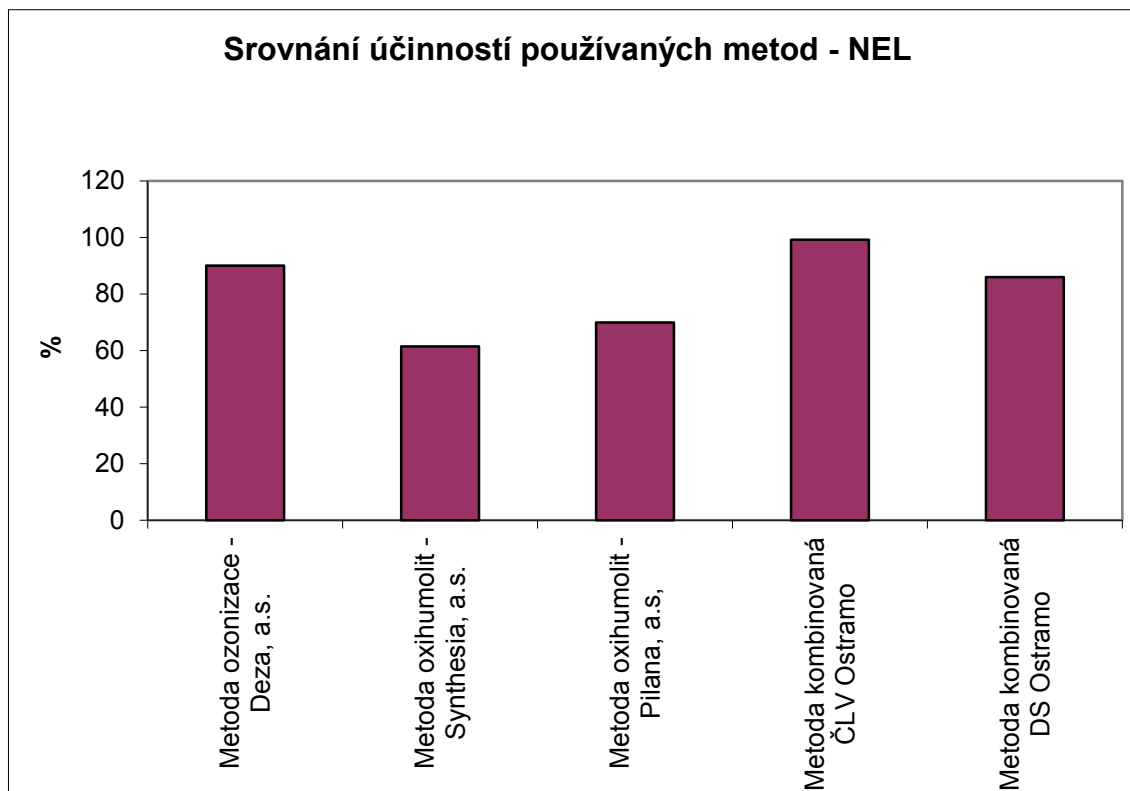
### **4.3.2 Ozonizace odpadních vod**

Proces ozonizace je velmi náročný a je zde důležité komplexní řešení. Při této metodě dochází ke kombinaci několika vstupů, a to volbě pracovního plynu, koncentraci ozonu, teplotě chladicí vody. To vše při dosažení maximální účinnosti a co nejnižších nákladů. Celému procesu čištění musí předcházet laboratorní a poloproduční zkoušky s danou vodou [29].

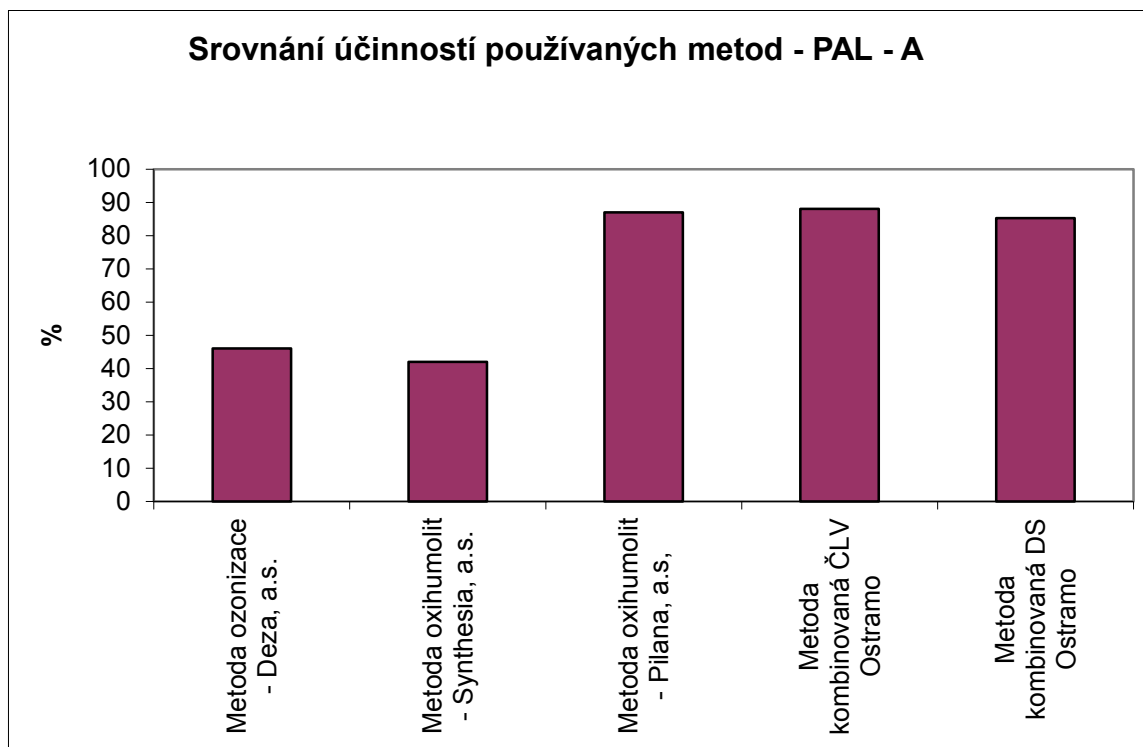
Moderní zařízení vyrábějí ozon z čistého kyslíku a dosahují 5x vyšší koncentrace (200g/Nm) než v minulosti. Vzhledem k tomu, že ozon je nestabilní, vyrábí se v místě spotřeby [29].

Ozon je pod tlakem nasáván pomocí injektoru pomocným čerpadlem. V reakční nádrži dochází k reakci ozonu s organickými sloučeninami v toxických vodách. Z výstupu reakční nádrže je ozonizovaná voda zaváděna zpět do cirkulačního oběhu k opětovnému vnosu ozonu. Poté odchází do kanalizace se zaústěním pod hladinu, aby došlo k likvidaci zbytkového ozonu a následně do biologické čistírny odpadních vod. Během procesu může dojít k tomu, že ozon není úplně spotřebován. V tomto případě se musí zpracovat pomocí destruktorů na O<sub>2</sub>, protože ozon patří mezi toxické látky a mohlo by dojít k ohrožení. I z tohoto důvodu je celý proces monitorován [29].

V rámci zkušebního provozu v roce 2008 v DEZA, a. s. Valašské Meziříčí, byla vyjádřena účinnost PAL 46%, NEL 90%, sulfanu 49% (viz. graf č. 28, 29) [29].



Graf č. 28 Srovnání účinnosti používaných metod NEL [autor 22. 4. 2013]



Graf č.29 Srovnání účinnosti používaných metod Pal-A [autor 22. 4. 2013]

## 5 ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá posouzením vhodnosti technologie používané v rámci sanačních prací v ekologicky znečištěné oblasti laguny Ostramo a porovnává jiné sanační technologické postupy. V lagunách Ostramo jsou vody, které se liší chemickým složením. Nepolární extrahovatelné látky jsou nejvýznamnějším organickým kontaminantem.

Sanace odpadních a srážkových vod je v zátěžové oblasti laguny Ostramo prováděna systémem ČLV na bázi fyzikálního a chemického čištění, doplněna činností dekontaminační stanice. Účinnost dekontaminační stanice se mění v závislosti na klimatických poměrech a intenzitě sanačních prací. Je také ovlivněna zvýšenými emisními hodnotami, které souvisejí se zvolenou sanační technologií lagun. V průběhu roku, na základě naměřených zvýšených koncentrací, dochází k pozastavení činnosti a tím i zvýšení koncentrace kontaminantů ve vodách. To vede k nutnosti druhotného přečištění, zvýšení energetických vstupů a tedy finančnímu navýšení v rámci celého procesu.

Z dostupné literatury jsem zjistil, že na odstranění PAL-A, NEL, CIU, PAU a podobných látek existuje více používaných metod, některé z nich jsem zmínil v experimentální části a vyhodnotil jejich účinnost. Výběr metody závisí na konkrétní kontaminované lokalitě, hydrogeologických podmínkách, koncentraci a kvalitě kontaminantu, na množství kontaminované vody či zeminy a na ekonomických možnostech.

Porovnávaná metoda k přečištění vod - ozonizace, má poměrně vysokou účinnost oxidace. Při hodnocení této metody musíme brát v úvahu to, že při ozonizaci probíhají další oxidační reakce se znečišťujícími látkami v odpadních vodách, protože mají proměnlivé složení. Také uspořádání oxidačních reakcí je závislé na reaktivitě jednotlivých složek. Jedná se tedy o velmi složitý proces, kdy všechny tyto faktory ovlivňují výsledný proces. Účinnost čištění se v rámci zkušebního provozu v Deza, a.s. pohybovala v průměru 73,5%. Navíc se jedná o nebezpečný provoz, kdy i přes veškerá opatření může dojít k úniku toxického ozonu do ovzduší.

V případě využití sanace pomocí oxihumolitového filtru, která je využívána k čištění odpadních vod průmyslových areálů Pilana, a.s. v Hulíně a Synthesie v Pardubicích, se projevuje účinnost v závislosti na množství a intenzitě kontaminantů. Zatímco v Pilaně je účinnost čištění NEL a PAL 70% resp. 87%, v Synthesii se jako nejvyšší hodnota ukazuje



61% v případě NEL. Všechny ostatní hodnoty jsou procentuálně podstatně nižší, což svědčí o tom, že tato metoda na tak vysokou koncentraci a množství kontaminantů nestačí. Je tedy velmi pravděpodobné, že by touto metodou k významnému přečištění vod nedošlo ani v Lagunách Ostramo.

Existuje mnoho dalších metod, kdy se k filtraci používají jiné než zmiňované látky, jejich účinnost je však ještě nižší. Jiná patentovaná metoda MYCELX, která používá jako náplň do filtru skupinu sloučenin, je vhodnou metodou, co se týká skladby kontaminantů, přes vysokou účinnost 99% je však vázána na koncentraci kontaminantů do 50mg/l.

Ostatní metody, které se zabývají sanací ropných úniků, např. hydraulické štěpení, pneumatické štěpení atd., však nejsou vhodné pro tak rozsáhlé znečištění a tedy ani pro naši lokalitu.

Po zhodnocení uvedených metod jsem dospěl k závěru, že účinnost použité technologie v ostravských lagunách je v porovnání s jinými používanými metodami nejvýhodnější a nejúčinnější (<85%) a je tedy vhodně zvolenou metodou.

Je nutno dodat, že úspěšná sanace je podmíněna detailním poznáním geologické stavby, vývojem znečištění, hydrologickými poměry a důkladným monitoringem. Znečištění může migrovat v průlinovém prostředí a hlavně, objem znečištění je obvykle vyšší, než byl stanoven v předsanační etapě. Je tedy velmi složité nejvhodnější metodu stanovit.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- 1 Weston, A., Balba, T.: Bioventing, Inn. Remediation Group, 2003, 3(2): 1-2
- 2 Bienik, J.: Ropa a zemní plyn a životní prostředí, Alfa, Bratislava 1982
- 3 Matějů, V.: Kompendium sanačních technologií, Vodní zdroje Ekomonitor, Chrudim 2006
- 4 Sanační technologie IX, sborník konference / 2006
- 5 Šráček, O., Datel, J., Mls, J.: Kontaminační hydrologie, Nakladatelství Karolinum, Praha 2000
- 6 Brouyere, S., Dassargues, A./Hallet, V.: Journal of Contaminant Hydrology, Migration of Contaminants through the unsaturated zone overlying the Hesbaye Chalky aquifer in Belgium, Aug 2004
- 7 A Citizen's Guide to Soil Vapor Extraction and Air Sparging, EPA 542-F-96-008, April 1996
- 8 Alexandr, M. A.: Biodegradation and Bioremediation. Academic Press, San Diego, 1999, second edition
- 9 NAVFAC: Naval Facilities Engineering Command, Air Sparging Guidance Dokument, Technical Report TR-2193-ENV, Naval Facilities Engineering Service Center, 1100 23rd Avenue Port Hueneme, Kalifornia 93043, 2001
- 10 XVII. Vedecké sympozium. Zborník Proceeding, Hrádok 2008
- 11 Sanační technologie VII, sborník konference, MěDK Elektra Luhačovice 26. - 27. 5.2004
- 12 Remediation Technologies for Typoal Contaminantsand Media Types at Navy Sites,Mar 2004
- 13 Malý, J., Hlavínek, P.: Čištění průmyslových odpadních vod, NOEL, Brno 1996
- 14 Daifullah, A. A. M., Girgis B. S: Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Impact of surface characteristics of activated carbon on adsorption of BTEX, March 2003, Volume 214, Issues 1-3, Pages 181-193

- 15 Michael, R./Lehman, Frederick, S./Greg, A., Bala: Attached and unattached Microbial Communities in a Simulated Basalt Aquifer under Fracture- and Porous – Flow Conditions, Dec 2004
- 16 Ketchem, A.J., Cronch, M., Carten, K.: NRCS, Virginia Farmstead Assessment System, Fact Sheet/Worksheet Site Evaluation: Groundwater, Soils, Geology
- 17 Washington Water Science Center – Water Data – Water Use Concepts and Terms, September 2005
- 18 Gudbjerg, J.: Remediation by Steam Injection, Dissertation, Technical University of Denmark, Environment and resources DTU, Lyngby, 2003, pp. 137
- 19 Khan, F.I. / Husain, T. / Nejati, R.: Journal of Environmental Management, An overviex and analysis of site remediation technologies, Jun 2004
- 20 Diamo státní podnik, Stráž pod Ralskem. © 2013 DIAMO státní podnik. [Citace: 8-3-2013]. <http://www.diamo.cz/lokality-odra/laguny-ostramo>
- 21 Realizační projekt „Nápravná opatření – Laguny Ostramo“ Souhrná zpráva
- 22 Jedovaté laguny zabíjejí labutě. © 2010 Arnika, Chlumova 17, Praha 3. [Citace: 8-3-2013]. <http://arnika.org/jedovate-laguny-zabijeji-labute>
- 23 Závěrečná zpráva doplňujícího průzkumu, „Sdružení ČISTÁ OSTRAVA“, 2004
- 24 Doprůzkum skládky odpadů s.p. DIAMO (tzv. laguny Ostramo), Geologický průzkum Ostrava a.s., 2001
- 25 Realizované práce 2005 - 2012. AquaTest s.r.o. Souhrná zpráva.
- 26 Výroční zpráva 2010. Geosan group, OHL ŽS, AquaTest. „Sdružení čistá Ostrava“
- 27 Výroční zpráva 2011. Geosan group, OHL ŽS, AquaTest. „Sdružení čistá Ostrava“
- 28 Všeobecné požadavky na složení odpadních vod vypouštěných do veřejné kanalizace. © 2004 - 2012 Ostravské vodárny a kanalizace a.s. [Citace: 11-4-2013]. [http://www.ovak.cz/files\\_for\\_web/dok\\_pozslozvodypri4-1.pdf](http://www.ovak.cz/files_for_web/dok_pozslozvodypri4-1.pdf)
- 29 Sanační technologie VII, sborník konference / 2004

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Al	Hliník
Be	Berilium
BSK <sub>5</sub>	Biochemická spotřeba kyslíku [g.l <sup>-1</sup> ]
BTEX	Benzen, Toulén, Ethyl-benzen, Xylen
Cd	Kadmium
CIU	Chlorované uhlovodíky
CO	Oxid uhelnatý
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý
Cr	Chrom
ČLV	Čistička lagunových vod
DS	Dekontaminační stanice
HNO1	Havarijní nápravná opatření
HNO2	Havarijní nápravná opatření
MaR	Monitorovací systém
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NEL	Nepolární extrahované látky
NO <sub>2</sub>	Oxid dusičitý
PAL-A	Anionaktivní tenzidy
PAU	Polycyklické aromatické uhlovodíky
PE-HD	Polyethylen
pH	Vodíkový exponent
PM <sub>10</sub>	Prašný aerosol
PTS	Podzemní těsnicí stěna
R0,R1, R2	Označení lagun

SO <sub>2</sub>	Oxid siřičitý
SO <sub>4</sub>	Sírany
UMO	Upotřebení minerálních olejů
RU	Ropné uhlovodíky (bez rozlišení)
ZÚOVA	Zdravotní ústav Ostrava

## SEZNAM OBRÁZKŮ



Obrázek č. 7 Situace zájmového území a okolních subjektů [25]



Obrázek č. 8 Situace zájmového území a okolních subjektů [21]

